

HYDROGEOLOGISCHE UND HYDROGEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN DER ASSE BEI WOLFENBÜTTEL

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Ludwig-Maximilians-Universität
München
—

vorgelegt
von
HORST FRANK
—
aus
München

1972

München 1971

HYDROGEOLOGISCHE UND HYDROGEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN DER ASSE BEI WOLFENBÜTTEL

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt
von
HORST FRANK
aus
München

München 1971

DEM ANDENKEN

MEINER ELTERN



1. Berichterstatter: Professor Dr. F. Neumajer
 2. Berichterstatter: Professor Dr.-Ing. A. Maucher
- Tag der mündlichen Prüfung: 9. 2. 1972

V o r w o r t

Herr Professor Dr. F. NEUMAIER betraute mich mit der vorliegenden Arbeit. Ihm sei für seine stete und freundliche Unterstützung und Betreuung aufrichtig gedankt.

Der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (GSF) danke ich für ihre großzügige finanzielle Hilfe und für die Drucklegung meiner Arbeit.

Mein Dank gilt weiterhin besonders Herrn Dr. H. BATSCHE, Institut für Radiohydrometrie (GSF) und Herrn Dr. K. KLARR, Institut für Tieflagerung, Clausthal-Zellerfeld (GSF) für wertvolle Gespräche und Anregungen in Gelände und Labor.

An der Asse hatte ich stets die freundliche und wertvolle Unterstützung der Herren Dipl.-Ing. E. ALBRECHT, dem Leiter der Betriebsabteilung für Tieflagerung der GSF in Wolfenbüttel und Bergingenieur THIELEMANN, dem Betriebsführer des Salzbergwerkes Asse. Ihnen und der Belegschaft des Schachtes Asse II sei dafür herzlich gedankt.

Den Herren Dr. H. GRIMMELMANN, Dr. C. HINZE und Dr. E. HOFRICHTER (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover) sei für ihr Interesse an meiner Arbeit und ihre Unterstützung besonders gedankt.

Für die Überlassung von chemischen Wasseranalysen bin ich Herrn Dr. BROUER (Staatliche Chemische Untersuchungsanstalt, Braunschweig) sowie vor allem Dr. H. FAUTH (Bundesanstalt für Bodenforschung) zu Dank verpflichtet.

Herr Dr. H. NIELSEN vom Zentrallaboratorium für die Geochemie der Isotope in Göttingen führte dankenswerterweise die Schwefel-Isotopen-Bestimmungen durch und zeigte darüberhinaus großes Interesse an den hydrogeochemischen und isotopenchemischen Problemen an der Asse.

Herr Diplomphysiker W. SCHMATZ von der Physikalisch-Technischen Abteilung der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München unterstützte mich bei der Abfassung von Datenverarbeitungsprogrammen und machte mich mit dem Umgang der Elektronischen Rechenanlage der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung vertraut.

Herrn D. APPEL (TU Hannover), Herrn H. BEHRENS (Institut für Radiohydrometrie der GSF) sowie meinen Studienkollegen R. APEL, H. DROST, R. HEROLD und G. MEIER danke ich für fruchtbare Diskussionen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. EINLEITUNG	1
1. Problemstellung	1
2. Lage des Arbeitsgebietes	4
3. Morphologie	5
II. ZUR GEOLOGIE DER ASSE	8
1. Überblick	8
2. Stratigraphie	10
2.1 Zechstein	12
2.2 Buntsandstein	12
2.3 Muschelkalk	17
2.4 Keuper	20
2.5 Jura	21
2.6 Kreide	22
2.7 Tertiär	23
2.8 Pleistozän	23
2.9 Holozän	24
3. Tektonik	24
3.1 Schichtlagerung	24
3.2 Die geologische Situation in der Umgebung des Schachtes Asse II	30
3.3 Klufittektonik	30
III. HYDROGEOLOGIE	38
1. Allgemeines	38
2. Die hydrogeologischen Eigenschaften der Gesteine	43
2.1 Arten der Wasserführung	43
2.2 Die grundwasserleitenden Gesteine	44
2.2.1 Verkarstete Gipsgesteine	45
2.2.1.1 Hutbildungen über dem Zechsteinsalz	45
2.2.1.2 Schichtförmige Gipslager im Röt und Mittleren Muschelkalk	47

2.2.2 Buntsandstein	48
2.2.3 Muschelkalk	49
2.2.4 Keuper	51
2.2.5 Jura	51
2.2.6 Kreide	52
2.3 Schwerdurchlässige Gesteine	55
3. Hydrologische Messungen an Quellen, Brunnen und Vorflutern	55
3.1 Allgemeines	55
3.2 Grundwassertemperaturen	56
3.3 Quellschüttungen	60
4. Hydrogeochemie	61
4.1 Allgemeines	61
4.2 Die Arbeits- und Darstellungsmethoden	62
4.3 Der Lösungsinhalt der Grundwässer	65
4.3.1 Gesamtsalzgehalt	66
4.3.2 Hydrogenkarbonat und Kohlendioxid	68
4.3.3 Sulfat	72
4.3.4 Chlorid	73
4.3.5 Nitrat	75
4.3.6 Kalzium, Magnesium und Strontium	76
4.3.7 Natrium und Kalium	78
4.3.8 Kieselsäure und Borsäure	78
4.3.9 Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Blei	79
4.3.10 Lithium, Brom und Jod	80
4.3.11 Der pH - Wert	82
4.4 Die chemischen Grundwassertypen und ihre Beziehung zum Speichergestein	82
4.4.1 Autochthone Grundwässer	87
4.4.1.1 Grundwässer aus der Kreide	87
4.4.1.2 Grundwässer aus dem Keuper	92
4.4.1.3 Grundwässer aus dem Muschelkalk	95
4.4.1.4 Grundwässer aus den Gipslagern des Röt und Mittleren Muschelkalkes	96
4.4.1.5 Grundwässer aus dem Zechstein- hutgebirge.....	101
4.4.2 Allochthone Grundwässer	107
4.4.3 Austauschwässer	120
4.5 Zeitliche Schwankungen im Chemismus der Grundwässer	123

5.	Schwefel-Isotopen-Verhältnisse in Gipsen und Grundwässern der Asse	131
5.1	Grundlagen	131
5.2	Probenmaterial und Meßtechnik	134
5.3	Ergebnisse	134
6.	Hydrogeologie und Tektonik	138
6.1	Die Beeinflussung der Grundwässer im Deckgebirge durch Zechsteinwässer	138
6.1.1	Der westliche Strukturschluß bei Groß Denkte	139
6.1.2	Der Südflügel der Asse nordöstlich Wittmar	147
6.1.3	Der Südflügel der Asse bei Remlingen ...	150
6.2	Die hydrogeologische Situation in der Umgebung des Schachtes Asse I	151
6.3	Subrosion an der Asse	153
6.4	Die Beziehungen zwischen den hydrogeo- logischen Eigenschaften der Gesteine, ihrer Lagerung und den Grundwasserbe- wegungen.....	156
IV.	FOLGERUNGEN FÜR DIE LAGERUNG RADIOAKTIVER RÜCK- STÄNDE IM SALZBERGWERK ASSE II	163
1.	Voraussetzungen	163
2.	Theoretisch mögliche Gefahren für den Bestand des Salzbergwerkes	164
3.	Ist eine hydraulische Verbindung zwischen dem Grubengebäude des Schachtes Asse II und dem Grundwasser in den Hut- oder Deckgebirgsge- steinen möglich?	166
4.	Ausblick	169
V.	ZUSAMMENFASSUNG	172
	LITERATURVERZEICHNIS	182
	ANHANG	191



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555409_0046

I. EINLEITUNG

1. Problemstellung

Die Beseitigung radioaktiver Abfälle und ihre dauernde Fernhaltung von der Umwelt des Menschen stellt vor allem in so dicht besiedelten Ländern wie der Bundesrepublik Deutschland ein ernst zu nehmendes Problem dar. In unserem humiden Klima mit seinen meist relativ hohen Grundwasserständen und der intensiven Nutzung des Grund- und Oberflächenwassers ist bei einer oberflächennahen Endlagerung der Eintritt geringer Aktivitätsmengen in den Biozyklus oft nicht völlig auszuschließen. Daher ist eine oberflächennahe Endlagerung unter den Gesichtspunkten von Sicherheit und Wirtschaftlichkeit bestenfalls für schwach radioaktive Abfallstoffe möglich. Will man auch für die Endlagerung stärker radioaktiver Rückstände eine sichere Lösung finden, so sind andere Lagerungsmöglichkeiten in Betracht zu ziehen. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt der deutschen Forschungsarbeiten in der Erprobung von Methoden der Endlagerung radioaktiver Rückstände im tieferen Untergrund und hier vor allem im Salzgebirge. Die Lagerung im Salz kann auf verschiedene Weise erfolgen. Zum einen in künstlich ausgesolten Salzkavernen, zum anderen in standsicheren, stillgelegten Salzbergwerken.

Mit der Absicht, die Endlagerung radioaktiver Rückstände im Steinsalz zu betreiben, erwarb die Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München (jetzt: Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München, GSF) im Jahre 1964 das Salzbergwerk Asse I bei Wolfenbüttel. Hier sollte die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz unter natürlichen Bedingungen zunächst erprobt und schließlich durchgeführt werden. Das Institut für Tieflagerung der GSF in Clausthal-Zellerfeld übernahm das berg- und geowissenschaftliche Untersuchungsprogramm; die Betriebsabteilung für Tieflagerung der GSF in Wolfenbüttel führt betriebstechnische Arbeiten durch und überwacht die sachgemäße Einlagerung der radioaktiven Abfälle im Salzbergwerk.

Das Salzbergwerk liegt im nördlichen Harzvorland (geologisch: Subherzynes Becken), dort wo eine langgestreckte Salzhebungs-
linie den sogenannten Asse - Heeseberg - Höhenzug bildet
(siehe Abb. 2). An ihm wurden die über dem Zechsteinsalz
ehemals flachlagernden, mesozoischen Sedimentgesteine gleich-
zeitig mit dem Aufdringen des Salzes sattelförmig steilgestellt
und z. T. tektonisch stark zerbrochen. Diese Sedimente sind in
ihrer petrographischen Zusammensetzung und in ihren hydrogeo-
logischen Eigenschaften sehr unterschiedlich. Verschieden mäch-
tige grundwasserführende Schichten wechseln in rascher Folge mit
schwerdurchlässigen bis undurchlässigen Schichten. Zusammen mit
der steilen Lagerung und den meist quer zum Streichen verlaufen-
den tektonischen Bruchzonen, die vielfach mehrere hydrogeologi-
sche Einheiten durchschlagen, entstand an der Asse eine außer-
gewöhnlich komplexe und zunächst schwer durchschaubare hydro-
geologische Situation. Es war daher notwendig über die unmittel-
baren Beweissicherungsmaßnahmen hinaus eingehende hydrogeologi-
sche Untersuchungen in der Umgebung des Salzbergwerkes anzustel-
len.

Bereits seit Ende 1967 wurden vom Institut für Tieflagerung der
GSF gemeinsam mit dem Institut für Radiohydrometrie der GSF in
München sämtliche Quellen, Brunnen und Vorfluter in einem Gebiet
von ca. 50 km² um den Schacht Asse II erfaßt. An diesen hydro-
logischen Aufschlüssen sollten Messungen der elektrolytischen
Leitfähigkeit, der Wassertemperatur, des pH-Wertes und der Schüt-
tung bzw. des Wasserstandes in 2 bis 4 wöchigen Abständen durch-
geführt werden. Darüberhinaus waren die bereits vorhandenen hydro-
logischen und insbesondere hydrochemischen Daten aus der Asse und
ihrer Umgebung bis hin zum Elm zu sammeln, zu sichten und auszu-
werten. Daran anschließend sollte die hydrogeologische Beurtei-
lung der Gesteine in Hinblick auf ihre Wasserwegsamkeit erfolgen
und die Verbreitung der Grundwasserleiter sollte durch eine
karten- und profilmäßige Darstellung wiedergegeben werden.
Insbesondere sollte den hydrologischen Zusammenhängen zwischen
dem versalzten Grundwasser in den Hutbildungen des Zechstein-
salzes und dem Grundwasser in den mesozoischen Kluftgesteinen
und in den verkarsteten Gipshorizonten der Trias

nachgegangen werden. Bei dem steilen Einfallen der Aquifere, bei dem auf engem Raum auftretenden Wechsel von undurchlässigen und durchlässigen Schichten und bei der unterschiedlichen Wasserwegsamkeit der tektonischen Störungszonen war ein solches Studium nicht einfach. Leider fehlten hydrologische Aufschlüsse wie solche Brunnen oder Grundwasserpegel, an denen Untersuchungen der Grundwasserbewegungen hätten durchgeführt werden können, sodaß sich das Gewicht der vorliegenden Arbeit von vorneherein auf Fragen der Hydrogeochemie verschob. Es wurde vermutet, daß die unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen der aus verschiedenen Horizonten stammenden Grundwässer es ermöglichen könnte, verschiedene Grundwassertypen nicht nur gegeneinander abzugrenzen, sondern sie auch in Beziehung zu setzen zu dem Gestein, das sie durchflossen haben. Es konnte auch erwartet werden, daß auf diese Weise Aussagen über die Bedeutung einzelner Störungszonen für die Grundwasserbewegung zu machen wären.

Nachdem eine umfassende Behandlung aller hydrogeologischen Probleme an der Asse auch eine direkte Beobachtung von Grundwasserbewegungen und eine Erkundung tieferer Grundwasserbereiche verlangt, sollte eine Anzahl von hydrologischen Untersuchungsbohrungen im Asse-Höhenzug niedergebracht werden. Über den Standort dieser Bohrungen, die Art und den Umfang der dort zu erfolgenden hydrogeologischen Untersuchungen sollten durch die vorliegende Arbeit wichtige Hinweise erzielt werden.

2. Lage des Arbeitsgebietes



Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes

Hel = Helmstedt, Hil = Hildesheim, Halb = Halberstadt,
Go = Goslar, Gö = Göttingen, W = Wolfenbüttel,
Wolf = Wolfsburg; schwarz = Arbeitsgebiet

Meine hydrogeologischen Untersuchungen beschränken sich auf den Bereich des etwa 4 km südöstlich Wolfenbüttel gelegenen Asse-Höhenrückens zwischen Groß Denkte und Klein Vahlberg, auf die Altenauniederung bei Wendessen und auf den, durch die Ortschaften Klein Denkte, Kissenbrück und Klein Biewende begrenzten Ab-

schnitt des südlichen Assevorlandes. Im Norden stellt die Altenau die Grenze des Arbeitsgebietes dar (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Zu Vergleichszwecken wurde hydrochemisches Datenmaterial wie Wasseranalysen, Leitfähigkeitsbestimmungen etc. auch aus dem Gebiet der östlichen Fortsetzung der Asse zwischen Klein Vahlberg und Uhrde und dem südlichen und östlichen Elm herangezogen.

3. Morphologie

Aus einem flachen Hügelland mit Höhen zwischen 100 und 120 m über NN erhebt sich recht unvermittelt bis auf 230 m über NN der schmale bewaldete Höhenzug der Asse. Er erstreckt sich von Groß Denkte aus in südöstlicher Richtung über ca. 8 km bis nach Klein Vahlberg; seine Breite beträgt ungefähr 2 km. Zwischen Groß Denkte und dem Schacht Asse II ist die Asse durch zwei Längstäler in drei langgestreckte, unterschiedlich stark zerteilte Rücken von einheitlich 200 - 230 m Höhe aufgegliedert. Im Westen findet der Asse-Höhenzug sein unvermitteltes Ende bei Groß Denkte im Tal der Altenau. Im Osten geht er unter Auflösung seiner markanten Längsgliederung in eine flachere Hügelkette über. In den Tälern und Höhenrücken des Asse-Höhenzuges bildet sich die unterschiedliche petrographische Beschaffenheit und Härte der am Aufbau beteiligten steilgestellten mesozoischen Gesteinspakete ab. Die beiden äußeren wallartigen Rippen mit sehr konstanter Höhe (220 und 230 m über NN) werden durch die widerstandsfähigen Karbonatgesteine des Unteren Muschelkalks gebildet. Der südliche Muschelkalkrücken wird bei Wittmar durch ein tektonisch vorgezeichnetes Quertal zweigeteilt. Der nördliche Muschelkalkrücken (Festberg) behält dagegen über seine gesamte Erstreckung wallartigen Charakter.

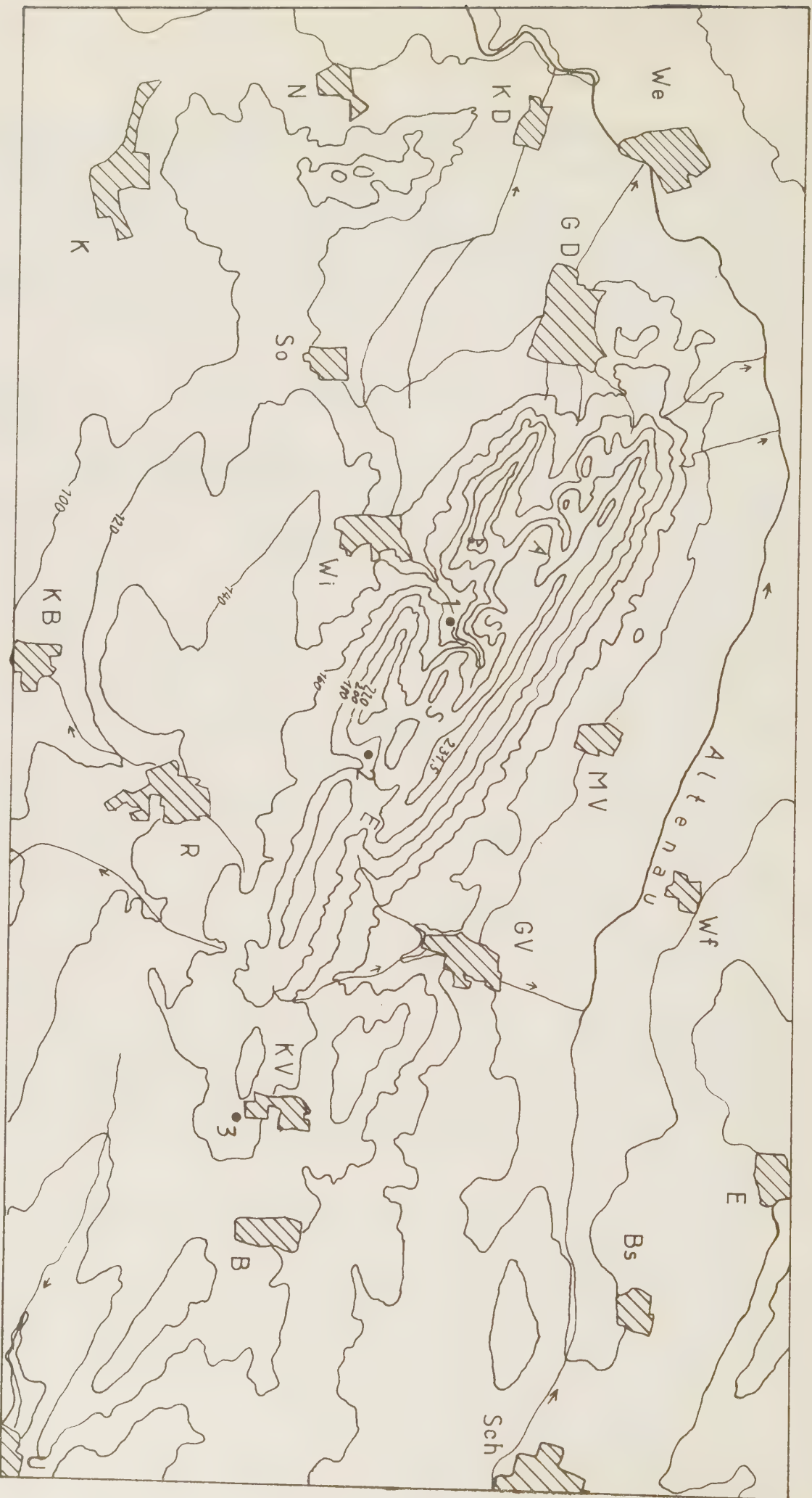


Abb. 2: Morphologische Übersichtskarte der Asse und ihrer Umgebung

20 m - Isohypse; B = Berklingen, Bs = Bansleben, E = Elum, GD = Groß Denkte,

GV = Groß Vahlberg, K = Kissenbrück, KD = Klein Denkte, KV = Klein Vahlberg, KB = Klein Biwende,

MV = Mönche-Vahlberg, N = Neindorf, R = Remlingen, Sch = Schöppenstedt, So = Sottmar, U = Uehrde, We = Wendessen, Wf = Weferlingen, Wi = Wittmar; 1 = Schacht Asse 1, 2 = Schacht Asse 2, 3 = Sch. Asse 3

Ganz anders geartet ist der durch die Längstäler eingeschlossene mittlere Rücken, welcher durch Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins gebildet wird. Er ist durch querverlaufende junge Kerbtälchen in mehrere Kuppen aufgeteilt (Eich-Berge, Röhr-Berg, Rothen-Berg, Watze-Berg). Nach Südwesten zum südlichen Längstal fallen diese Kuppen relativ steil ab. Nach Nordwesten haben sie eine flache, gleichsinnig mit den Schichten einfallende Abdachung, auf der selbst geringmächtige härtere Sandsteine aus den sonst mehr tonigen Gesteinen als Kanten und Rippen herausragen. Das südliche Längstal ist durch die unterirdische Abtragung von Zechsteinsalzen (Subrosion) als Subrosionssenke ausgebildet. Es ist 100 - 300 m breit und an zwei Stellen durch eingeklemmte Buntsandsteinhärtinge derart quergegliedert, daß man eigentlich von mehreren Subrosionssenken sprechen müßte. Diese Senken zeichnen den Verlauf eines zentralen Störungs- und Zerrüttungsbereiches nach, an dem das Zechsteinsalz stellenweise einst bis an die heutige Oberfläche aufdrang und durch das Grundwasser bis in 100 - 300 m Tiefe wieder abgelautet wurde. An den überwiegend tonig und sulfatreichen Rückstandsbildungen konnte die Erosion bevorzugt angreifen. Erdfälle pausen junge Auslaugungsvorgänge in den Rückstandsgipsen bis an die Oberfläche durch. Westlich des Schachtes Asse I beim Bismarckturm läßt sich ein für die Morphologie charakteristisches Querprofil durch die Subrosionssenke legen. Der große Härteunterschied zwischen den Hutgesteinen des Zechsteinsalzes und den südlich angrenzenden Schichten des Muschelkalks kommt in einer sehr steilen Böschung zum Ausdruck. Nach Nordosten verursachen tonig-sandige Sedimente des Unteren Buntsandsteins einen weniger steilen Anstieg, der jedoch in Höhe der harten Oolithkalke der Hauptrogensteinbank zu einer kräftigen Kante wird.

Im nördlichen Längstal wurden die Tone des Röts bevorzugt ausgeräumt. Auch hier zeigen sich die Auswirkungen subrosiver Vorgänge, diesmal in salinaren Sedimenten des Unteren Röts, durch Erdfälle, die im Streichen oftmals wie Perlen an einer Schnur aufgereiht sind.

Die Entwässerung dieser durch querverlaufende kleine Talwasserscheiden gegliederten Rötsenke erfolgt, außer in ihrem westlichen Teil, durch die Quertäler im Buntsandsteinrücken und folgt dann der Subrosionssenke.

Östlich der Straße Remlingen - Groß Vahlberg ändert sich die Morphologie und es ist nur noch der durch den Muschelkalk des Südflügels gebildete Rücken ausgeprägt. Die Subrosionssenke ist nur mehr als flache nach Norden abfallende Depression erkenntlich. Der Nordflügel ist morphologisch nicht mehr ausgeprägt.

II. ZUR GEOLOGIE DER ASSE

1. Überblick

Geologisch gesehen ist die Asse ein Bestandteil des westlichen subherzynen Beckens, welches sich zwischen dem nördlichen Harzrand und dem Flechtinger Höhenzug erstreckt und in dem Schichten des Mesozoikums zutage treten. Dieses westliche subherzyne Becken ist charakterisiert durch herzynisch streichende Schmalsättel bzw. Salzhebungslinien (z.B. Vienenburger Sattel, Asse-Heeseberg-Zug, Dorm-Rieseberg-Achse), weitgespannte Beulen (Großer Fallstein, Elm, Neindorfer Sattel) und Mulden (Subherzyne Kreidemulde, Remlingen-Pabsdorfer-Mulde, Schöppenstedter Mulde, siehe Abb. 3). Die Asse stellt das westliche Ende einer bis nach Jerxheim reichenden herzynisch streichenden Salzaufstiegslinie (Asse-Heeseberg-Zug) dar, an der das Mesozoikum z. T. sattelartig emporgehoben wurde. Sie wird begleitet von der Schöppenstedter Kreidemulde im Nordosten und der Remlinger Kreidemulde im Südwesten. Nach Westen wird sie durch rheinisch streichende Strukturen des Braunschweiger Raumes begrenzt.

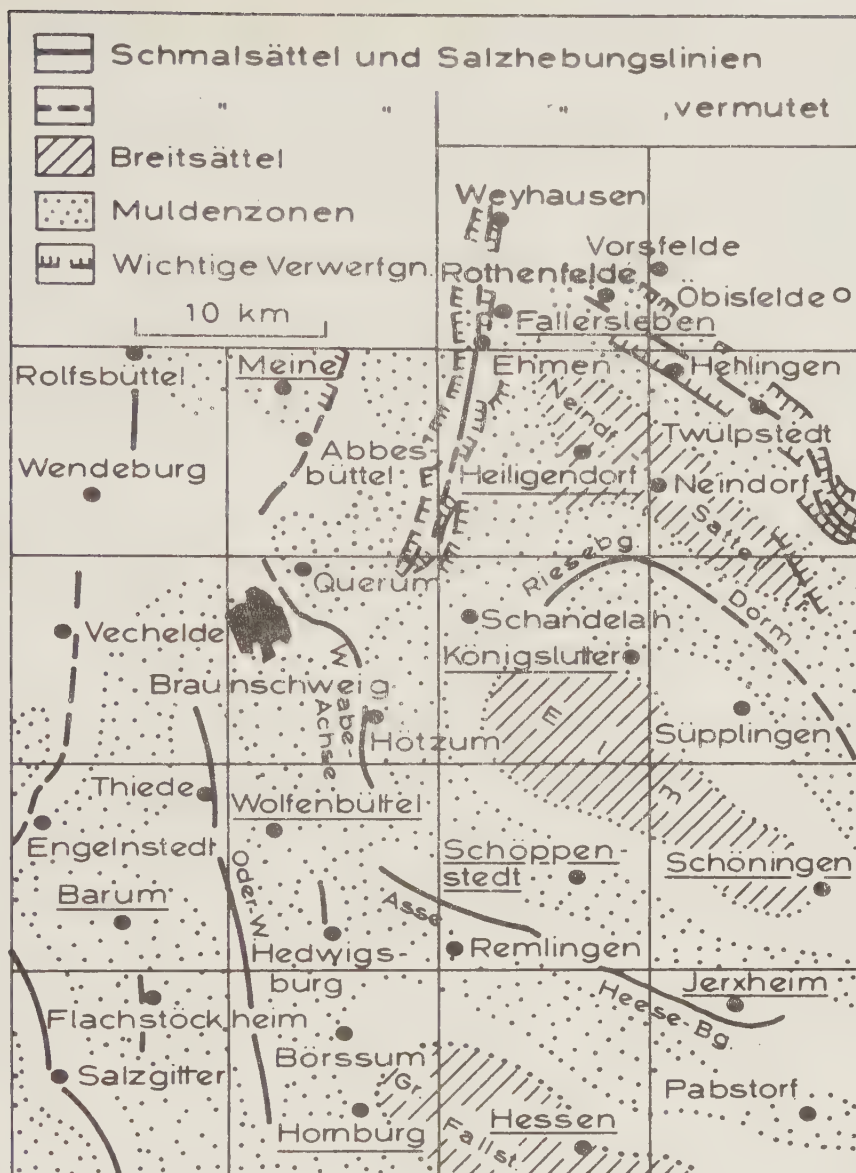


Abb. 3: Tektonische Übersichtsskizze des nordwestlichen subhercynen Beckens

Aufgrund der hydrogeologischen Problemstellung der vorliegenden Arbeit wird im folgenden nur soweit auf die speziellen stratigraphischen und tektonischen Verhältnisse eingegangen, wie es zum Verständnis und zur Deutung der hydrogeologischen Zusammenhänge erforderlich ist. Auf eine detaillierte stratigraphische Gliederung wird ebenso verzichtet wie auf eine umfassende tektonische Analyse.

Auf die entsprechenden Veröffentlichungen wird zu Beginn der einzelnen Kapitel verwiesen.

Die erste umfassende stratigraphisch-tektonische Bearbeitung der Asse und ihrer östlichen Fortsetzung des Heeseberges stammt von HOEHNE (1911); er führt auch die gesamte ältere Literatur auf. Eine geologische Aufnahme der Meßtischblätter 3829 Wolfenbüttel und 3830 Schöppenstedt der Geologischen Karte 1:25000 von Preußen erfolgte von 1919 bis 1925 gemeinsam durch HARBORT und WOLDSTEDT. Die Erläuterungen verfaßte WOLDSTEDT (1931 a, b).

In neuerer Zeit brachte KAIKA (1961) eine tektonische Analyse des Asse-Heeseberg-Zuges. Er führte auch eine Kartierung (1:25000) durch, welche die älteren geologischen Karten in einigen Punkten verbesserte.

Nach meinen ersten geologischen Begehungen zeigte sich bald, daß das amtliche geologische Kartenwerk (Geologische Karte von Preußen 1:25000 Bl. 3829 Wolfenbüttel und Bl. 3830 Schöppenstedt) für die für uns in Frage kommende hydrogeologische Problematik in vielen Punkten nicht ausreichte. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher in einem Umkreis von ca. 1 km in der Umgebung des Schachtes Asse II eine geologische Kartierung im Maßstab 1:10000 durchgeführt (siehe Abb. 8). Durch das Entgegenkommen des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung konnte eine Neukartierung der Asse zwischen Groß Denkte und Klein Vahlberg unter Zuhilfenahme moderner Aufnahmeverfahren eingeleitet werden. Nach einer mündlichen Mitteilung des Bearbeiters Herrn cand.geol. D. APPEL (TU Hannover) steht diese Kartierung kurz vor ihrem Abschluß.*)

2. Stratigraphie

Außer dem Zechstein ist an der Asse noch eine bis zu 1900 m mächtige mesozoische Schichtenfolge vorhanden. Bis auf paläogeographisch bedingte Schichtausfälle im Mittleren

*) im Jahre 1970

Tab. 1: Schichtenfolge, Schichtenausbildung und Wasserführung des Mesozoikums an der Asse.
 (Q_B = Brunnenenergiebigkeit, Q_Q = Quellschüttung)

ABTEILUNG	STUFE, SCHICHTGLIED		SCHICHTENAUSBILDUNG	WASSERFÜHRUNG	MÄCH- TIGKEIT
OBERKREIDE	Senon;	Mucronaten- und Quadratenschichten,	sandige Kalkmergelsteine, teilweise stark glaukonitisch;	wasserführend, Kluffwasser; $Q_B = 6,9 \text{ l/s}$; $Q_Q = \text{ca. } 10 \text{ l/s}$; Wasserversorgung Kissenbrück;	ca. 50 m
UNTERKREIDE	— Transgression —				
	Unt. Mitt.-Turon, Unter-Turon,	Lamercki-Planer, Labriatus-Planer,	Kalksteine und Kalkmergelsteine;	wasserführend, Kluffwasser, möglicherweise geringe Verkarstung; $Q_B = \text{ca. } 5 \text{ l/s}$; Wasserversorgung Remlingen;	80-90 m
	Cenoman,	Cenomankalk, Cenomanmergel;	Kalksteine, Kalkmergelsteine, Mergel;	Cenomankalk, örtlich wasserführend, Kluffwasser;	ca. 60 m
	Ober-Alb,	Flammenmergel,	feste Mergel, kieselig;	wasserführend, Kluffwasser; $Q_B = \text{max } 13,9 \text{ l/s}$;	bis 60 m
	Alb, Apt, Barrême, Hauterive,	Gault- und Neokom-Tone;	Tone, z.T. kalkig oder feinsandig, Kalk- und Toneisensteingeoden;	undurchlässig,	bis 270 m
	Unt. Hauterive Ober Hauterive	Hilskonglomerat;	Kalkmergelstein, mittel-sandig, Brauneisengerölle, Phosphoritkn	geringe Wasserführung möglich;	bis 15 m
— Transgression —					
UNTERDOGGER	Bajocien, Aalénien,	Parkinsonschichten, Coronaten-Schichten, Polyplacussandstein, Opalinuston;	Tonstein, z.T. feinsandig, Feinsandstein, Mergelstein- und Kalkmergelsteinbankchen,	schwer durchlässig bis undurchlässig;	0-100 m
OBERLIAS	Lias zeta-epsilon,	Jurensis - Aalensis-Schichten Posidonien-schiefer,	Tonstein, feinsandig, Tone, mergelige Kalkbanke;	schwer durchlässig bis undurchlässig;	0 - 40 m
MITTELLIAS	Lias delta-gamma,	Amaltheenschichten, Capricornerschichten, Jamesonischichten,	Tone, feinsandig, kalkhaltig, pyritaltig, brauneisenschussig, Eisenstein;	schwer durchlässig bis undurchlässig;	bis 120 m
UNTERLIAS	Lias beta-alpha,	Planicostaschichten, Arietenschichten, Angulatenschichten, Psilonotenschichten;	Tone, Tonsteine, Feinsandstein, pyritaltig, Toneisensteingeoden,	schwer durchlässig bis undurchlässig;	bis 120 m
OBERER KEUPER	Oberes, Mittleres, Unteres Rät;	Rätsandstein, Ratton;	Mittel- bis Feinsandstein Brauneisengeoden, Tone;	Rätsandstein wasserführend; $Q_B = \text{ca. } 3 \text{ l/s}$, Wasserversorgung Wittmar und Monche-Kahlberg;	bis 60 m
MITTLERER KEUPER		Steinmergelkeuper, Rote Wand, Schiffsandstein, Unterer Gipskeuper;	Tone, z.T. feinsandig, Mergel- und Tonmergelstein, Tonfeinsandstein, Gipsbanke u. -Linsen,	undurchlässig, geringe Wasserführung i. d. „Steinmergel“-bk;	ca. 250 m
UNTERER KEUPER		Lettenkohlenkeuper;	Tone, z.T. feinsandig,	undurchlässig;	bis 50 m
OBERER MUSCHELKALK		Ceratitenschichten, Trochitenkalk;	Kalkmergelstein, Mergel und Tone, Kalkstein, trochitenführend;	Trochitenkalk wasserführend; $Q_Q = 1 \text{ l/s}$;	bis 70 m 10-12 m
MITTLERER MUSCHELKALK			Mergel, Mergelstein, Dolomit, Gips,	Gipshorizont verkarstet, wasserführend, $Q_Q = \text{max. } 5 \text{ l/s}$;	ca. 50 m
UNTERER MUSCHELKALK		Bereich der Schaumkalkbanke, Wellenkalk 3, Horizont der Terebratelbanke,	Mergelkalke, Kalke, z.T. oolithisch, z.T. konglomeratisch,	wasserführend, $Q_Q = 1-2 \text{ l/s}$;	ca. 10 m
		Wellenkalk 2, Horizont der Oolithbanke, Wellenkalk 1,	Schillkalke, Gelbkalke;		ca. 12 m
		Bereich der Basiskonglomeratbanke,			ca. 7 m ca. 35 m ca. 7 m ca. 25 m ca. 15 m
OBERER BUNTSANDSTEIN (ROT)	Rot 1, Rot 2, Rot 3, Rot 4,		Tone, z.T. schluffig Dolomit, Gips;	Gipshorizont verkarstet, wasserführend;	ca. 100 m
MITTLERER BUNTSANDSTEIN		Sollingfolge, Volpriehausenfolge;	Tone, Mittel- und Feinsandsteine;	insgesamt schwer durchlässig, einzelne Sandsteinbanke wasserführend;	100-120 m
UNTERER BUNTSANDSTEIN		Hauptrogensteinzone, Kalksandstein-Ton-Folge,	Tone, z.T. feinsandig, Kalksandsteine, z.T. fein- bis groboolithisch (Rogenstein), Sandsteine;	geringe Wasserführung in den Kalksandsteinen, sonst schwer durchlässig;	ca. 70 m ca. 300 m

Buntsandstein ist die triassische Abfolge lückenlos. Erst die über Mittlerem Lias bis Unterem Dogger transgredierende Unterkreide läßt eine bedeutende Schichtlücke (jungkimmerische Phase) erkennen, die bis in das Untere Valendis reicht. Eine zweite Schichtlücke (subherzyne Phase) ist in der Oberkreide festzustellen. Sie reicht vom Unteren Mittel-Turon bis ins Ober-Santon. Die Transgressionen des Eozäns und Oligozäns sind an der Asse ohne Bedeutung.

2.1 Zechstein

Lit.: WOLDSTEDT, P. 1931 a,b; FULDA, E. 1931, 1938;
RICHTER-BERNBURG, G. 1953; HARTWIG, G. 1957; u. a.

Gesteine des Zechsteins sind über Tage nur im Bereich der Subrosionssenke als Ablaugungsrückstände, z. B. als Gipse, rot-bunte Tone und vereinzelt als dunkle Karbonate, erhalten. Unter Tage ist bzw. war Zechstein durch die Schächte Asse I, II und III aufgeschlossen. Über die Schichtenfolge des Zechsteins in der Asse gibt Tabelle 2 Auskunft. Abb. 6 und Abb. 7 zeigen schematisch die Lagerungsverhältnisse und die z. T. tektonisch bedingten Mächtigkeitsunterschiede der einzelnen salinaren Serien. So sind zwischen dem Asse-Hauptsattel (Schacht 2) und der südlichen Salzflanke die Allerserie (Zechstein 4) und die Leineserie (Zechstein 3) stark unterdrückt. Grauer Salzton (T 3) und Hauptanhydrit (A 3) sind nur im Schacht Asse I in normaler Mächtigkeit angetroffen worden. In den Grubenaufschlüssen des Schachtes Asse II finden sich vom Zechstein 3 und 4 nur Spuren auf der Hangendseite des Staßfurt-Kalilagers. Roter Salzton (T 4) und Pegmatitanhydrit (A 4) sind dort nur auf der Nordflanke anzutreffen (Abb. 6 und Abb. 7).

2.2 Buntsandstein

Lit.: HOEHNE, E. 1911; WOLDSTEDT, P. 1931 a,b; BOIGK 1952, 1956, 1959, 1961; STARK, H. 1956; HERRMANN, A. 1962; HERMANN, A. u. HOFRICHTER, E. 1963 a,b; KALLIES, H.-B. 1963 HINZE, C. 1967; u. a.

Tab. 2: Schichtenfolge des Zechsteins in der Asse

(nach: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung 1964)

<u>Hangendes:</u> B u n t s a n d s t e i n		
ZECHSTEIN 4 (Aller-Serie)	ca. 1 m	Grenzanhydrit (A4r)
	ca. 120 m	Aller-Steinsalz (Na4)
	1,5 m	Pegmatitanhydrit (A4)
	ca. 30 m	Roter Salzton (T4)
ZECHSTEIN 3 (Leine-Serie)	ca. 120 m	Tonmittelsalz (Na3tm) "Oberes
		Schwadensalz (Na3O) Leine-
		Anhydritmittelsalz (Na3am) Steinsalz"
	ca. 30 m	Bänder- und Linien- "Unteres
	ca. 35 m	salze (Na3alpha-zeta) Leine-
ZECHSTEIN 2 (Staßfurt-Serie)	ca. 5 m	Hauptanhydrit (A3) Steinsalz"
	ca. 5 m	grauer Salzton (T3)
	ca. 3 m	Gebänderter Deckanhydrit (A2r) und Decksteinsalz (Na2r)
	ca. 15 m	Flöz Staßfurt, Carnallit und Kainit (K2)
	ca. 10 m	Kieseritische Übergangsschichten
	ca. 2-10 m	reinweißes Steinsalz
	ca. 400 m	Staßfurt-Steinsalz (Na2)
nicht aufgeschlossen: Basalanhydrit (A2) Hauptdolomit (Ca2) Braunroter Salzton (T2)		

Die oberflächenhafte Verbreitung des Buntsandsteins ist im wesentlichen auf den Nordflügel der Asse zwischen Groß Denkte und Groß Vahlberg beschränkt. Am Südflügel ist zwischen Unterem Muschelkalk und verstürztem Deckgebirge nur stark tektonisch reduzierter Oberer Buntsandstein (Röt) anzutreffen.

2.2.1 Unterer Buntsandstein

Seine Gesamtmächtigkeit beträgt, wie aus der Bohrung Remlingen 3 (WOLDSTEDT 1931 b) ersichtlich, mindestens 350 m (siehe auch Abb. 6). An der Oberfläche ist er jedoch tektonisch reduziert und nur 200 - 250 m mächtig aufgeschlossen. Die Schichtenfolge des Unteren Buntsandsteins an der Asse besteht aus einer Wechselfolge von z. T. feinsandigen, rotbraunen und grünen Tonen und Tonsteinen, mürben, weißlichen bis tiefdunkelvioletten Quarzsandsteinen, feinoolithischen Kalksandsteinen und dünnen Rogensteinbänken (Rogenstein = mittel - groboolithischer Kalksandstein). Das Bindemittel der Sandsteine ist meist kalkig z.T. auch dolomitisch (HOEHNE 1911 S. 12). Die Sandsteine und Rogensteine zeigen oftmals Wellenrippeln und Trockenrisse.

Das Auftreten dickbankiger Rogensteine gestattet es von einer liegenden Abfolge in der oben genannten Ausbildung eine Rogensteinfolge (Rogensteinzone nach WOLDSTEDT 1931 b S. 9; Kalkstein - Rogenstein - Folge nach KALKA 1962) von etwa 70 m abzutrennen. In ihr tritt die sogenannte Hauptrogensteinbank bzw. -bankfolge auf, welche in der Asse eine Mächtigkeit von 6 m erreicht. Durch die hydrologische Untersuchungsbohrung H 3 ist die Hauptrogensteinzone knapp nördlich des Schachtes Asse II in ihrer gesamten Mächtigkeit aufgeschlossen (siehe Abb. 4). Die Hauptrogensteinbank ist an der Asse nicht eine kompakte Bank gleichbleibender Mächtigkeit sondern sie teilt sich offensichtlich nördlich Wittmar in eine Folge von geringerer mächtigen Einzelbänken mit zwischenlagernden Tonen auf. Weitere insgesamt etwa 2 m mächtige, Rogensteinbänke bilden ca. 25 m unter der Hauptrogensteinbank die Liegendgrenze der Hauptrogensteinzone. Für die Hangendgrenze sind feinoolithische, hellgraue Kalksandsteine mit meist splittrigem Bruch kennzeichnend; darüber folgen dann die gröberen Quarzsandsteine der Volpriehausen-Serie, die bereits dem Mittleren Buntsandstein angehören.

2.2.2 Mittlerer Buntsandstein

Der Mittlere Buntsandstein ist an der Asse mit einer Mächtigkeit von 100 - 110 m gegenüber seiner Normalausbildung im Südniedersächsischen Bergland stark reduziert. Von den vier Großzyklen (BOIGK 1957) Volpriehausen-Folge (smV), Detfurth-Folge (smD), Hardeggen-Folge (smH) und Solling-Folge (smS) sind offenbar nur Teile der Volpriehausen- und der Solling-Folge vorhanden. Ob dafür neben der paläogeographischen Situation (Verlängerung der Eichsfeld-Schwelle, siehe HERRMANN u. HOFRICHTER 1963 b) auch streichende Störungen verantwortlich zu machen sind, ist bisher im einzelnen nicht bekannt.

Der Mittlere Buntsandstein beginnt mit mittel bis grobkörnigen Quarzsandsteinen; bei ihrer Bindemittelarmut zerfallen sie an der Oberfläche leicht zu losem Sand und sind so für die Kartierung leitend. Die im Südniedersächsischen Bergland für die Solling-Folge charakteristischen dickbankigen Bausandsteine fehlen hier in ihrer typischen Ausbildung.

Insgesamt gesehen ist der Mittlere Buntsandstein an der Asse eine Wechselfolge von Quarzsandsteinen und Tonen, in der harte, dickbankige Sandsteine weitgehend fehlen.

2.2.3 Oberer Buntsandstein (Röt)

Der Obere Buntsandstein hat an der Asse eine Mächtigkeit von ca. 100 m und ist überwiegend tonig ausgebildet. Für eine genauere Gliederung des Röt in vier Abschnitte (Röt 1 - 4), sei auf die Arbeit HINZE's (1967) verwiesen. Im Röt 1 (graue Serie) ist das Salinar des Röt im Auslaugungsbereich nur noch durch Gipssteinresiduen vertreten, die an einigen Stellen (nordöstlich Groß Denkte, nördlich Schacht Asse 1, östlich Schacht Asse 2) an der Oberfläche erhalten blieben. In der Bohrung der Saline Schöningen (Elm) wurde in ca. 400 m Teufe unter Keuper und Muschelkalkbedeckung ein ca. 50 - 80 m mächtiges Steinsalzlager angetroffen (FULDA 1938 S. 102; DORN 1966 S.272). Dieses an der Asse sicher primär ebenfalls

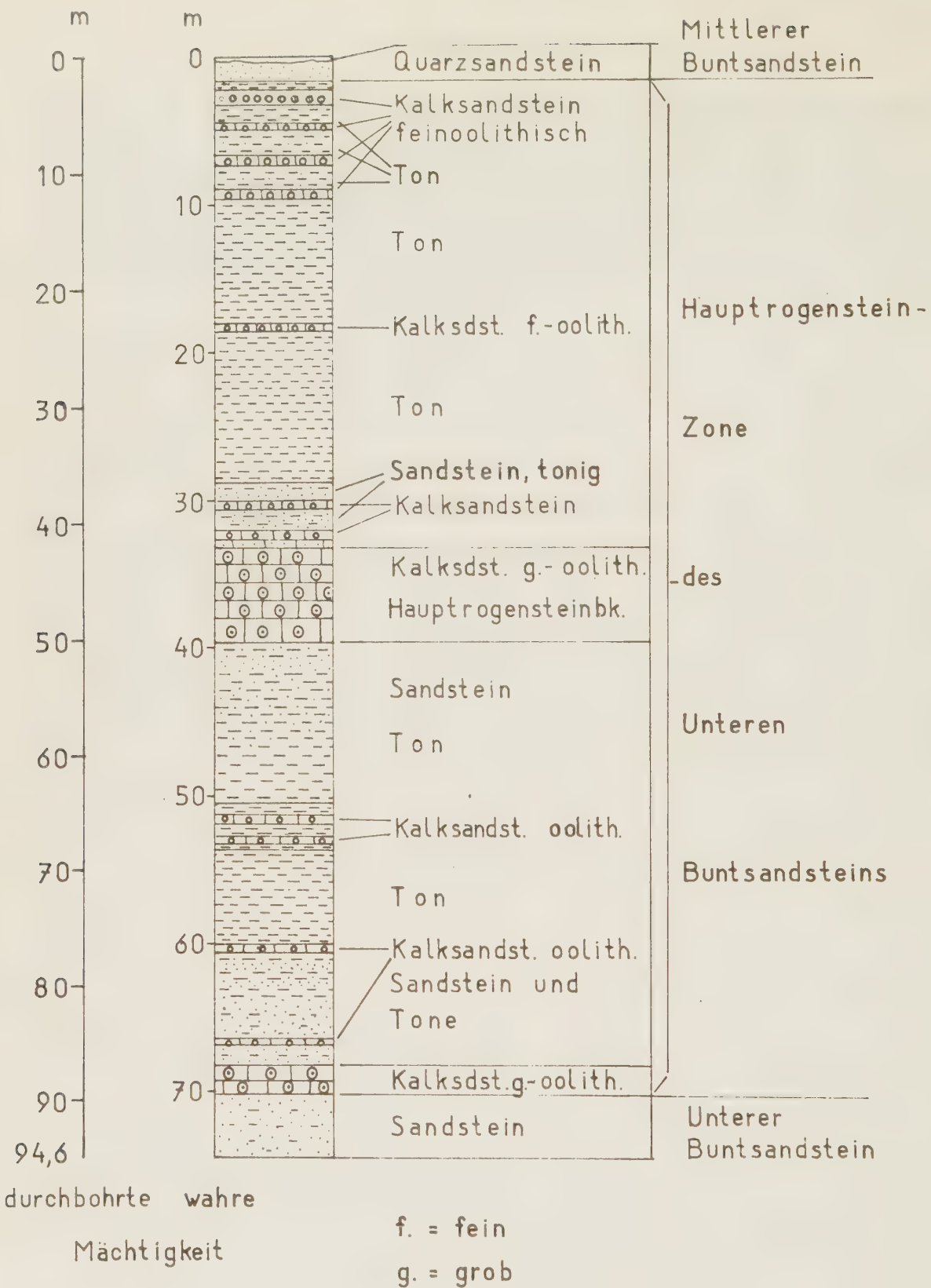


Abb. 4: Geologisches Profil durch den Buntsandstein der Bohrung H 3 im Nordflügel der Asse

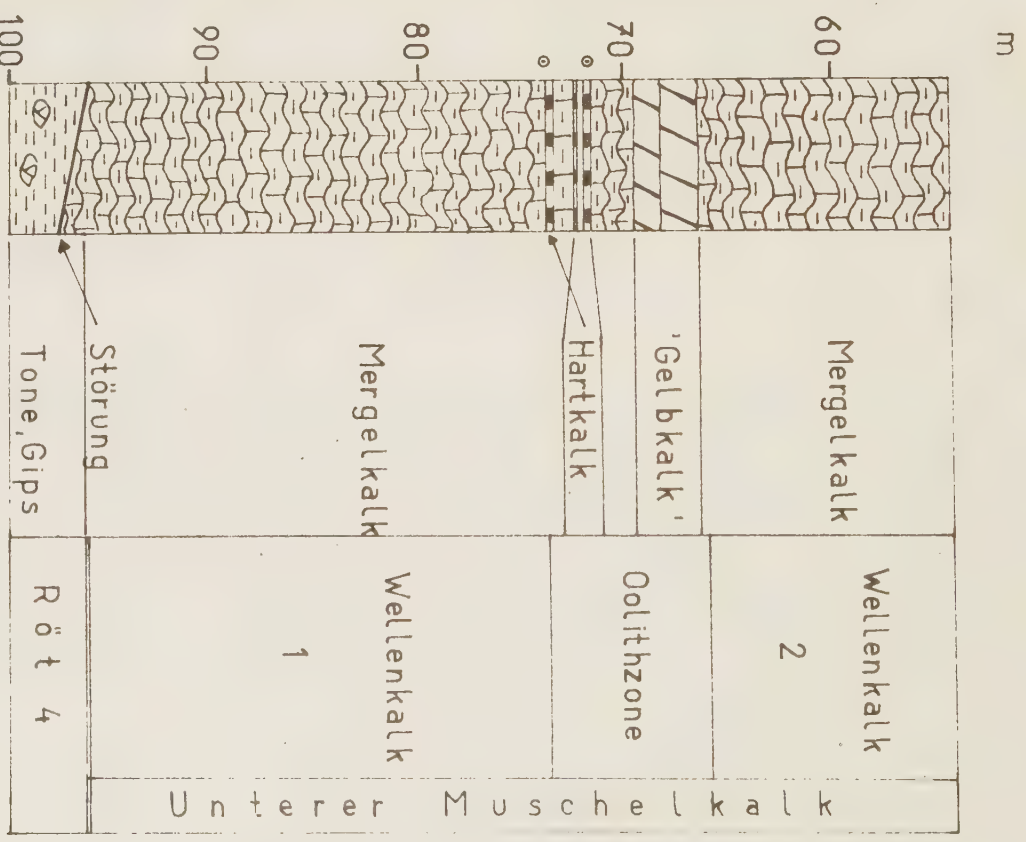
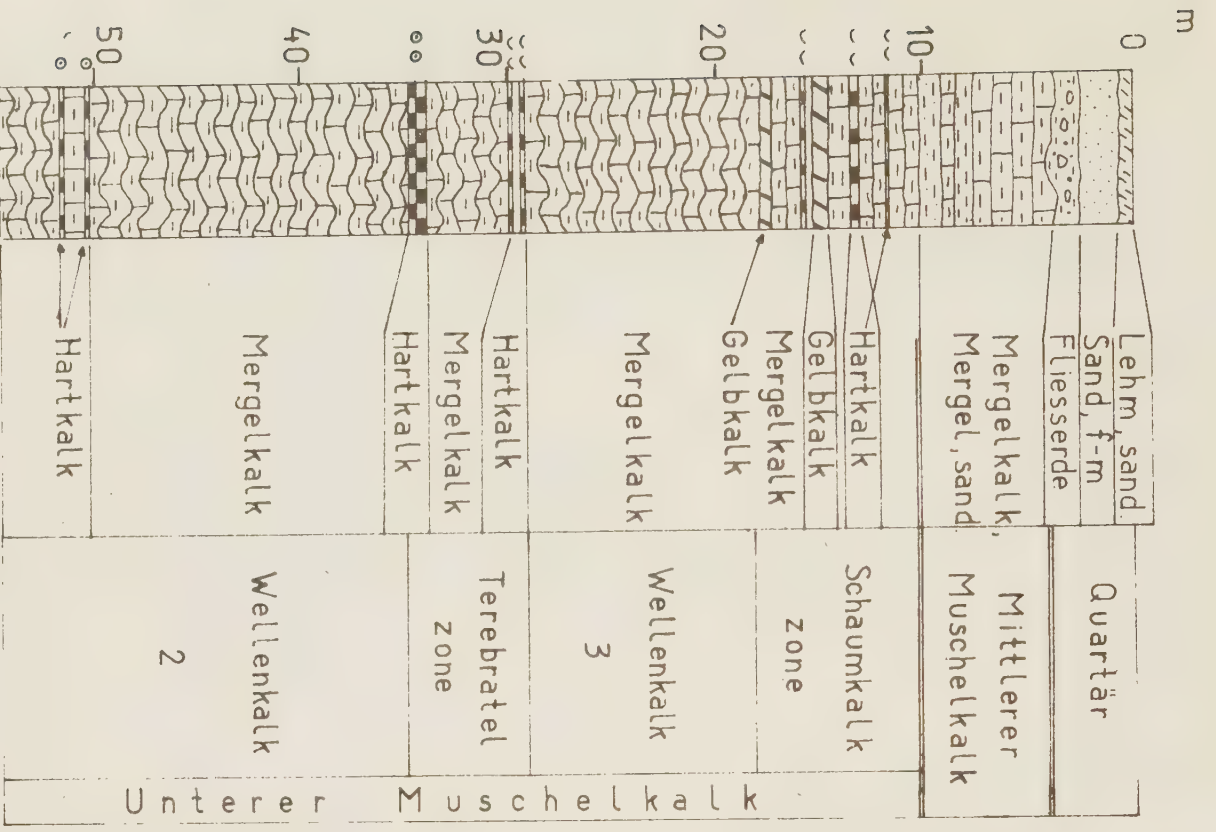
vorhandene Steinsalz ist zumindest in Oberflächennähe der Abtragung zum Opfer gefallen. Die anschließende Auslaugung des Anhydrit- und Gipsgesteins bewirkte eine Verkarstung dieser Residualbildungen, die sich oberflächlich durch Erdfälle bemerkbar macht. Da eine Unterteilung des Röt aufgrund der mangelhaften Aufschlüsse nur durch umfangreiche Schürfe und Flachbohrungen möglich ist, konnte im Rahmen dieser Arbeit keine weitere Aufgliederung des Röt durchgeführt werden. Nach freundlicher mündlicher Mitteilung der Herren Dr. HINZE und APPEL ist jedoch auch an der Asse die Anwendung der im Niedersächsischen Bergland von HINZE 1967 entwickelten Methode, nämlich das Röt in aufschlußarmem Gelände ausschließlich mittels Flachbohrungen zu kartieren und zu gliedern, möglich.

2.3 Muschelkalk

Lit.: PHILLIPPI, P. 1899; GRUPE, O. 1905; HENKEL, H. 1905; HOEHNE, E. 1911; WOLDSTEDT, P. 1931 a,b; ZUNCKE, G. 1957; KALKA, N. 1962; STEIN, V. 1966, 1967; BACKHAUS, E. 1967; HERRMANN, A., HINZE, C. u. STEIN, V. 1967; u. a.

2.3.1 Unterer Muschelkalk

Der Untere Muschelkalk an der Asse läßt sich seiner petrographischen Ausbildung und Mächtigkeit nach gut mit den aus dem Südniedersächsischen Bergland beschriebenen Profilen (STEIN 1966; BACKHAUS 1967 u.a.) vergleichen. Eine weitere Unterteilung des Unteren Muschelkalkes erfolgt nach dem Vorschlag STEIN's (1966) durch verschiedene Hartsteinhorizonte und Gelbkalkbänke. Über die petrographische Ausbildung des Unteren Muschelkalkes an der Asse gibt das Profil der hydrologischen Untersuchungsbohrung H4 (Abb. 5) Auskunft. Insgesamt ist der Untere Muschelkalk an der Asse 110 - 120 m mächtig. Im wesentlichen besteht der Untere Muschelkalk aus dem sogenannten Wellenkalk, der vielfach von Wurmgängen (Rhizocorallium) durchdrungen ist. Mergel und Tone treten in ihm stark zurück, sodaß der Wellenkalk in unverwittertem Zu-



~ ~ Schillkalk f = fein
 o o Oolithkalk m = mittel

Abb. 5: Geologisches Profil durch den Muschelkalk der Bohrung H 4 im Nordflügel der Asse

stand (Bohrung H 4) einen dickbankigen und dichten Eindruck erwecken kann. In den Wellenkalk sind in verschiedenen Niveaus Bänke eines körnigen, oolithischen oder geröllführenden, harten Kalkes eingelagert. Hierzu gehört der Bereich der Schaumkalkbänke, der Horizont der Terebratelbänke, der Horizont der Oolithkalkbänke und der Bereich der Basiskonglomeratbänke. Sie haben an der Asse meist nur eine Bankmächtigkeit von wenigen Dezimetern. In Oberflächennähe sind sie vielfach durch bevorzugte Auslösung von Ooiden schaumigporös oder sandig verwittert. Mit ihnen zusammen treten an der Asse drei Gelbkalkbänke auf: im Liegenden der Schaumkalkbänke (ca. 1,5 m mächtig), zwischen den beiden Oolithkalkbänken (ca. 2,5 m mächtig) und an der Basis des Unteren Muschelkalkes (in unbekannter Mächtigkeit). Diese Gelbkalke verdienen ihren Namen nur im verwitterten Zustand. Unverwittert handelt es sich um dichte, dickbankige, graue Mergelkalke ("Gelbkalk" der Oolithzone in der Bohrung H 4; siehe Abb. 5).

2.3.2 Mittlerer Muschelkalk

Der Mittlere Muschelkalk hat an der Asse eine mittlere Mächtigkeit von etwa 50 m und setzt sich aus gelblichen Mergeln, Mergelsteinen und Zellendolomiten zusammen (HOEHNE 1911; WOLDSTEDT 1931 a,b). Das in diese Sedimente eingeschaltete Gipssteinlager unbekannter Mächtigkeit ("Salinar des Mittleren Muschelkalks") ist in Oberflächennähe praktisch vollständig ausgelaugt. Im Bereich des bewegten Grundwassers ist wie Erdfälle und gipshaltige Quellwässer zeigen, die Auslaugung noch im Gange.

2.3.3 Oberer Muschelkalk

Der Obere Muschelkalk läßt sich wie anderswo so auch in der Asse in Trochitenkalk und Ceratitenschichten untergliedern. Der T r o c h i t e n k a l k ist charakterisiert durch mehrere ca. 0,5 m mächtige Kalksteinbänke, die sich durch Anhäufung von Seelilienstielgliedern (*Encrinus liliiformis*)

auszeichnen. Sie sind oftmals oolithisch und in Oberflächennähe schaumig verwittert. Die Mächtigkeit dieses Horizontes beträgt 10 - 12 m.

Die C e r a t i t e n s c h i c h t e n bestehen aus einer Folge von plattigen Kalken und Mergelkalken mit tonig-mergeligen Zwischenlagen; sie sind 50 - 70 m mächtig.

2.4 Keuper

Lit.: HOEHNE, E. 1911; JÜNGST, H. 1928; WOLDSTEDT, P. 1931 a,b; u. a.

2.4.1 Unterer Keuper (Lettenkohlenkeuper)

Der Untere Keuper besteht aus einer Abfolge von roten, braunen und grauen Tonen und tonigen Feinsandsteinen, in welcher gelegentlich kohlige Pflanzenreste führende Sandsteine sowie Kalkstein- und Dolomitbänkchen vorkommen (WOLDSTEDT 1931 a, b; KALKA 1962). Seine Mächtigkeit beträgt etwa 50 m.

2.4.2 Mittlerer Keuper (Gipskeuper)

Eine kartierbare Unterteilung in Unteren Gipskeuper, Schilfsandstein, Rote Wand und Oberer Gipskeuper (Steinmergelkeuper), wie sie am Südhang des Elms durchführbar ist (WOLDSTEDT 1931 b), ist an der Asse wegen der mangelhaften Aufschlußverhältnisse bisher nicht möglich gewesen. Trotzdem lassen sich die einzelnen Schichtglieder, wenn auch nicht im zusammenhängenden Profil so doch in einzelnen Aufschlüssen und Lesesteinen, an der Asse nachweisen (KALKA 1962). Insgesamt gesehen setzt sich der Gipskeuper überwiegend aus bunten Tonen und einigen geringmächtigen Mergelkalk- ("Steinmergel-") bänken zusammen. Nordöstlich Groß Denkte sind durch KALKA (1962) auch Sandsteine der Schilfsandsteinzone nachgewiesen.

An der Grenze zum Oberen Gipskeuper (Steinmergelkeuper) tritt bereichsweise eine bis 10 m mächtige, hellgraue bis weißliche Mergelkalkbank auf.

Die meist linsen- und stockförmigen Gipseinlagerungen (z. T. auch Fasergips) beschränken sich auf die Schichten unterhalb dieser Bank. Ein durchgehender Gipshorizont fehlt. Bemerkenswert ist das Auftreten von Strontiummineralen in den Kalkmergeln; so wurden nordöstlich Groß Denkte am Kreuzberg (WOLDSTEDT 1931 a, S. 14) Konkretionen mit Coelestinkristallen gefunden und im Bahneinschnitt südlich des Bismarckturmes (HOEHNE 1911, S. 39) in ca. 5 cm mächtigen Aragonitschnüren isomorphe Beimischungen von Strontianit.

Der Mittlere Keuper erreicht an der Asse eine Mächtigkeit von etwa 250 m.

2.4.3 Oberer Keuper (Rät)

Der etwa 15 - 20 m mächtige Rätsandstein wird im Hangenden und Liegenden jeweils von dunklen Tonen und Tonsteinen begrenzt. Es sind feldspatführende, glimmerhaltige, z. T. brauneisenschüssige und mürbe, fein - mittelkörnige Quarzsandsteine, die stellenweise Brauneisengeoden enthalten. Die gesamte Mächtigkeit des Rät beträgt 50 - 60 m.

2.5 Jura

Lit.: HOEHNE, E. 1911; JÜNGST, H. 1928; WOLDSTEDT, P. 1931 a,b; KUMM A. 1941; u.a.

Vom Jura ist meist nur Lias, ausnahmsweise auch Unterer Dogger (Bajocien, Aalénien) nachgewiesen (KALKA 1962, S. 9 - 10). Für den Lias läßt sich teilweise die bekannte Stufengliederung (Lias alpha bis zeta) durchführen (WOLDSTEDT 1931 a, S. 14 - 15 und KALKA 1962, S. 10). Der Lias ist überwiegend durch tonige Sedimente vertreten, in welche Sandsteine, Kalke und Toneisensteinlagen und -geoden eingelagert sind (WOLDSTEDT 1931, S. 14 - 15, HOEHNE 1911, S. 41 ff.).

Der Untere Dogger ist stellenweise in Senken als Tonstein, Kalkmergelstein und mürber Feinsandstein (nach KALKA 1962, bis 15 m)

erhalten. Nach WOLDSTEDT (1931 b, S. 25) handelt es sich dabei um den Polyplocus - Sandstein.

2.6 Kreide

Lit.: HOEHNE, E. 1911; WOLDSTEDT 1931 a,b;

2.6.1 Unterkreide

Die Ablagerungen der Unterkreide beginnen im Obervalendis bzw. Unteren Hauterive (KALKA 1962) mit einem Transgressionshorizont. Er ist gebietsweise als "Hilskonglomerat", einem ockerfarbenen, mittelsandigen Kalkmergelstein mit Brauneisengeröllen und Phosphoritkonkretionen ausgebildet, das sich seitlich mit Kalkmergel- und Mergelsteinbänken verzahnt. Es wird maximal 15 m mächtig. Darüber folgt eine Serie von bis zu 270 m mächtigen, dem Neokom und Gault angehörenden Tonen. Die Unterkreide schließt nach oben mit dem bis zu 60 m mächtigen Flammenmergel, festen, schlierig verkieselten, grauen Mergeln mit wechselndem Feinsand- und Glaukonitgehalt (KALKA 1962).

2.6.2 Oberkreide

Die untersten Partien werden durch weiche graue Mergelsteine und mürbe Kalke des Cenoman gebildet, die nach oben von härteren weißen Plänerkalken abgelöst werden, welche ebenfalls in das Cenoman zu stellen sind (WOLDSTEDT 1931 a, S. 17). Cenomanmergel und Cenomanpläner haben eine Mächtigkeit von je 30 m. Das daran anschließende Turon ist mit einer Mächtigkeit von ca. 80 - 90 m nur bis etwa zum Unteren Mittel-Turon vorhanden und als fleischroter, nach oben hin blasser werdender Plänerkalk (Labiatuspläner) bzw. als weißer Plänerkalk (Lamarckipläner) ausgebildet. Zwischen diesen Schichten und dem transgredierenden Quadratensenon fehlen das Obere Turon, die Emschermergel und das Granulatensenon. Das Senon wird repräsentiert durch ca. 50 m grauweiße bis gelbliche, sandige Kalkmergelsteine mit z. T. starker Glaukonitführung.

2.7 Tertiär

Zum Tertiär sind eventuell konglomeratistische Sedimente zu rechnen, welche östlich des Schachtes Asse II an der Straße von Remlingen nach Groß Vahlberg aufgeschlossen sind. Außerhalb des eigentlichen Asse-Höhenzuges ist nördlich der Ortschaft Uehrde (etwa 5 km östlich Remlingen) ein größeres, mehr als 100 m mächtiges Vorkommen von marinem Oligozän (Glaukonitsande und Tone) bekannt (WOLDSTEDT 1931 b, S. 19).

2.8 Pleistozän

Lit.: HOEHNE, E. 1911, STOLLEY, E. 1914, WOLDSTEDT, P. 1931 a,b; u. a.

Die Verbreitung und Mächtigkeit pleistozäner Sedimente ist auf den vorliegenden geologischen Karten (WOLDSTEDT, KALKA) nur ungenügend dargestellt. Dies gilt vor allem für den eigentlichen Asse-Höhenzug, der im Kartenbild fast ausschließlich in "abgedeckter Form" erscheint. Geschiebemergel und -lehme, als Grundmoräne der Saalevereisung abgelagert, und feinsandige Beckentone, die einer etwas früheren Ablagerungsperiode angehören, bilden im Arbeitsgebiet in nur geringer Verbreitung die ältesten pleistozänen Schichten (WOLDSTEDT 1931 a, b).

Sande im Tal der Altenau bei Wendessen sind nach WOLDSTEDT (1931 a) der letzten Eiszeit (Weichseleiszeit) zuzuordnen. Ihre Mächtigkeit ist nicht genau bekannt, sie kann jedoch aufgrund einiger Brunnenbohrungen bei Wendessen auf etwa 8 - 10 m geschätzt werden. Weitere pleistozäne Sande sind südlich des Schachtes Asse II und am Sandberg nordöstlich Remlingen von HOEHNE (1911, S. 70 - 73) beschrieben. Es handelt sich um fein- bis mittelkörnige Quarzsandsteine mit reichlichem Feldspatgehalt. Westlich des Schachtes Asse II wurden von mir in Handbohrungen erstmals feinkörnige, reine Quarzsande beobachtet, welche sich in einem Streifen von etwa 400 m Länge und 50 m Breite in 1 bis 2 m Mächtigkeit von Schacht Asse II in der Subrosionssenke nach Westen ziehen. Ähnliche Quarzsande sind im Bereich des Ansatzpunktes der Bohrung H 4 über Fließerde in ca. 2 m Mächtigkeit angetroffen worden.

Eine große Bedeutung haben innerhalb des Asse-Höhenzuges für die geologische Kartierung jungpleistozäne, periglaziale Fließerden. Sie treten vor allem an den Grenzen Muschelkalk zu Röt bzw. am steilen, von Muschelkalk gebildeten Südwestrand der Subrosions-senke zwischen Bismarckturm und Groß Denkte auf und erschweren die stratigraphische Grenzziehung. Teilweise sind sie von holozänen Hangrutschen nur schwer zu unterscheiden. Örtlich wurden bis zu 4 m mächtige Fließerdedecken erbohrt. Lößablagerungen sind an der Asse meist als Schwemmlöß in Tälern und Senken vorhanden.

2.9 Holozän

Hier sind vor allem die Flußaufschüttungen der Altenau zu erwähnen. Meist handelt es sich um humosen, feinsandigen Auelehm (Wendessen). Kalktuffablagerungen sind in Bereichen mit starken Quellaustritten z. B. nördlich Groß Denkte und südlich Groß Vahlberg in geringer Verbreitung vorhanden. Eine Quelle am Kreuzberg nordöstlich Groß Denkte hat zur Bildung eines kleinen Moores geführt.

3. Tektonik

3.1 Schichtlagerung

Die Asse stellt einen schmalen, von Zechstein und triassischen Gesteinen gebildeten, stark asymmetrischen Sattel dar. Längs einer steil einfallenden, streichenden Verwerfungszone (Sattelspalte) ist das Strukturdach zerbrochen und das Salinar des Oberen Zechstein teilweise bis mindestens in das heutige Abtragungsniveau aufgedrungen.

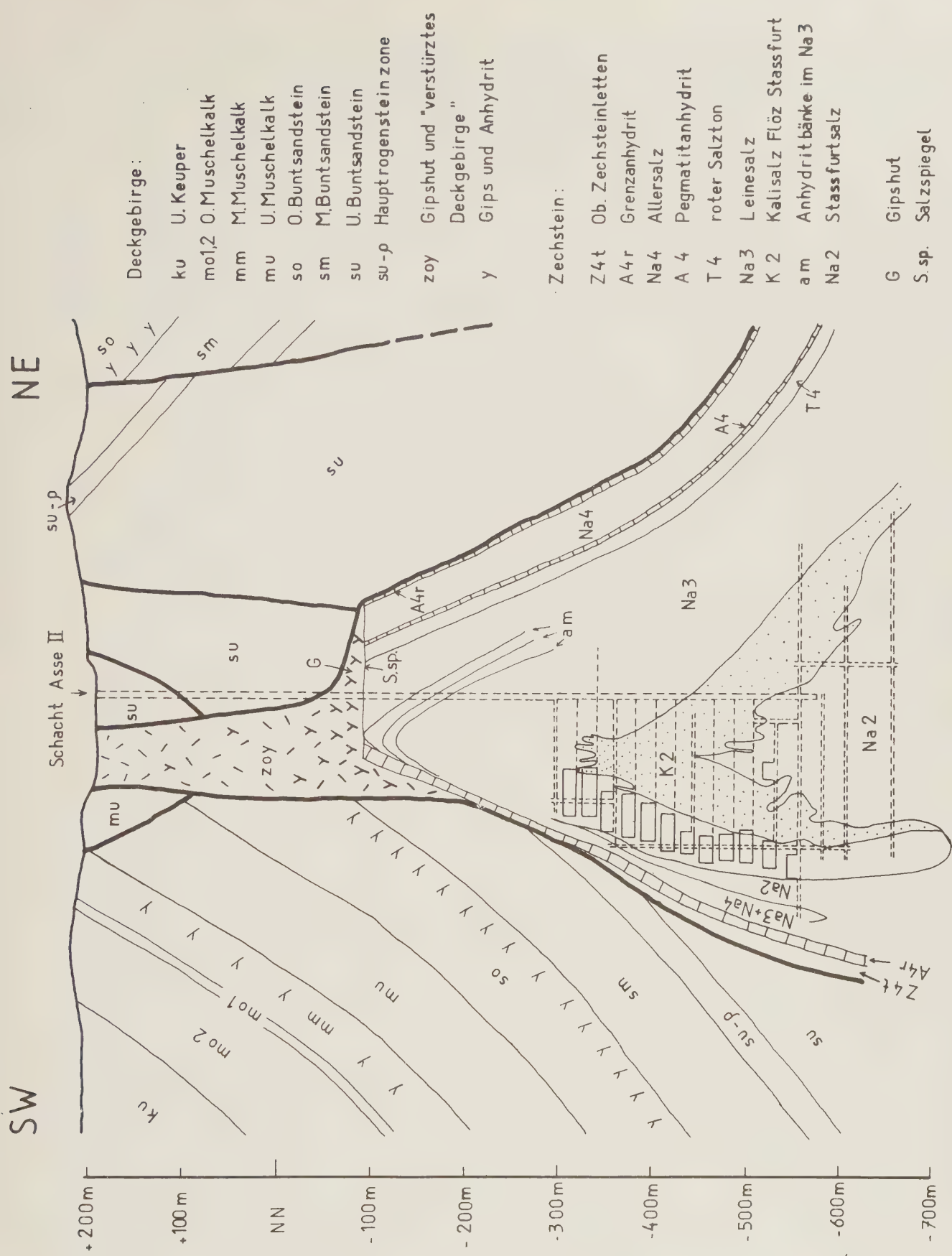


Abb. 6: Geologisches Profil durch die Schachtanlage Asse II

(nach G.HARTWIG verändert)

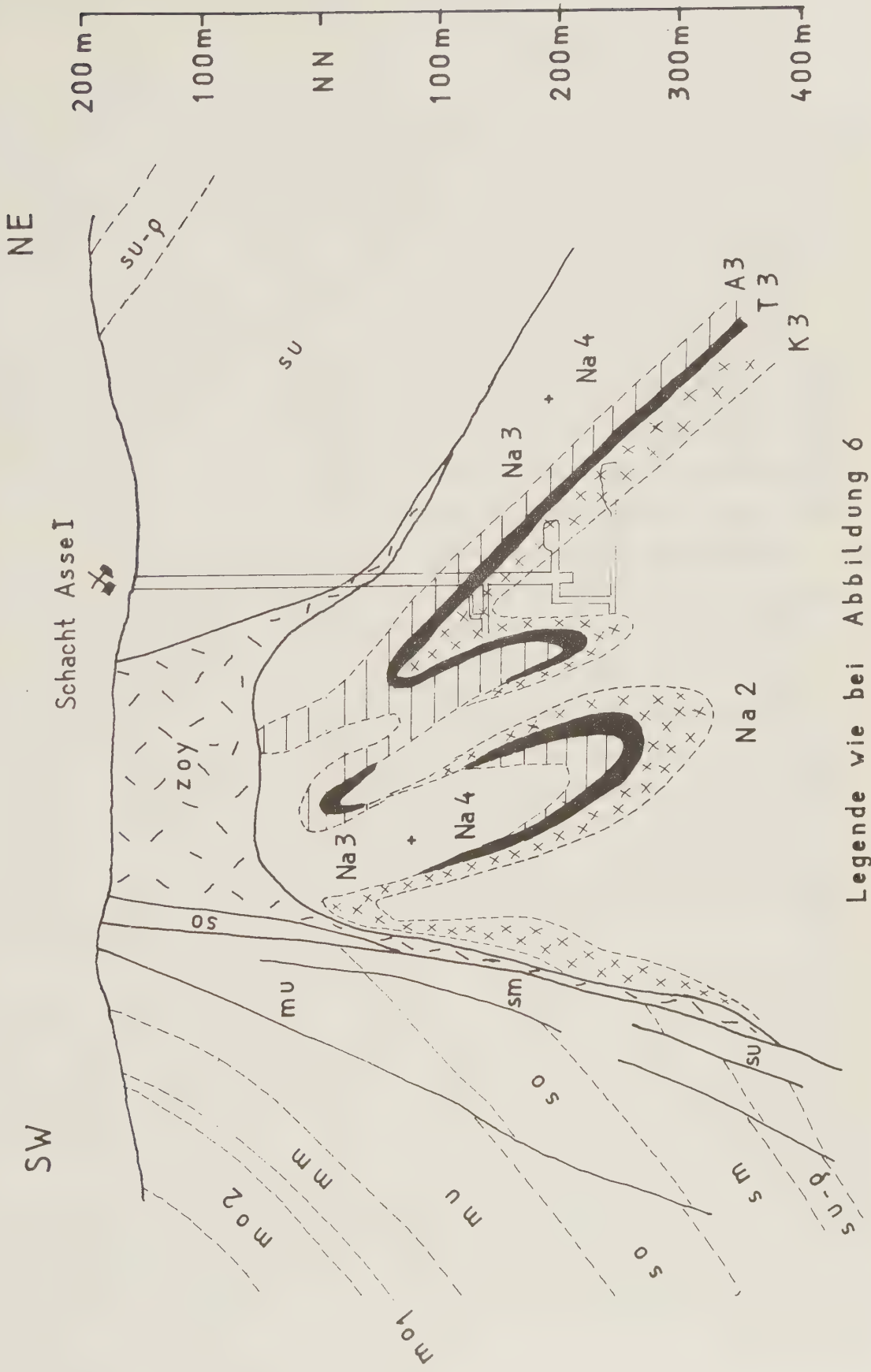
Die Grenzfläche Salinar/Deckgebirge verläuft am Nordflügel unterhalb des Salzspiegelniveaus nahezu konkordant, oberhalb ist sie, z. T. bedingt durch südfallende Abschiebungen, diskordant. Am Südflügel nimmt diese Grenzfläche über ihre gesamte Erstreckung eine stark durchgreifende Lage ein (siehe Abb. 6 und 7). Durch subterrane Ablaugung (Subrosion) wurden im Einflußbereich des Grundwassers bevorzugt die leichtlöslichen Salze fortgeführt. Gipse, Anhydrite und Tone blieben zurück und bilden über dem jüngsten Ablaugungsniveau (Salzspiegel) den Gipshut (bis ca. 30 m mächtig). Zusammen mit nachgebrochenen Deckgebirgsteilen bauen sie das sog. "verstürzte Deckgebirge" auf für das bis zu 380 m Mächtigkeit nachgewiesen sind (Schacht Asse III). Eine 100 bis 300 m breite langgestreckte Subrosionssenke kennzeichnet über Tage diesen Bereich. An zwei Stellen (westlich Schacht Asse I und westlich Schacht Asse II) ist die Subrosionssenke durch eingeklemmte, als Härtlinge wirkende Buntsandsteinschollen morphologisch wie geologisch quergegliedert.

Die beiden Strukturflügel sind ungleich stark herausgehoben (Abb. 6) und verursachen so eine deutliche Asymmetrie im Flankenbau. Der steilstehende bis überkippte Südflügel (Einfallen 40° SW bis 55° NE) grenzt mit Unterem Muschelkalk oder Röt an das verstürzte Deckgebirge; der flacher einfallende Nordflügel (Einfallen $30 - 50^{\circ}$ NE) grenzt mit Unterem Buntsandstein, der noch mit mindestens 200 m Mächtigkeit an der Oberfläche ausstreicht, an die Subrosionssenke. Das Einfallen der Schichten nimmt zu den im Norden und Süden anschließenden Kreidemulden hin ab. Die Schichten der Oberkreide fallen mit wenigen Graden nach Norden bzw. Süden ein.

Außer durch die verschiedenen Ausstrichsbreiten der einzelnen Schichtpakete unterscheiden sich die beiden Flügel durch den Grad der tektonischen Beanspruchung. Sie ist am Nordflügel nur gering. Die relativ ungestörte Lagerung wird dort durch Querstörungen nur bei Groß Denkte und Remlingen beeinflusst. Anders ist dies im Südflügel. Er ist vor allem zwischen Wittmar und Groß Denkte durch quer und diagonal, untergeordnet auch

Abb. 7:

(nach E. HARBORT 1922)



Legende wie bei Abbildung 6

durch streichend verlaufende Störungen stark zerbrochen. Die einzelnen Teilschollen sind an diesen Störungen steilgestellt und teilweise überkippt.

Der westliche Strukturschluß bei Groß Denkte wird durch eine Reihe von meist SW-NE bis SSW-NNE streichenden, steil westfallenden Abschiebungen bewirkt. Die Hauptstörungszone, die den breiten Ausbiß des Nordflügels durchschlägt, reicht vom verstürzten Deckgebirge bis in den Unteren Keuper. An ihr liegen Mittlerer Buntsandstein, der durch eine weiter östlich verlaufende Querstörung auf NE-SW Streichen eingeschwenkt ist, neben Unterem Muschelkalk, sowie Unterer Muschelkalk neben Unterem Keuper. Der westlich der Hauptstörungszone SSW-NNE streichende Streifen von Rät stellt aufgrund seiner relativen Ungestörtheit offensichtlich ein Relikt eines früheren nur wenig gestörten Sattelschlusses dar.

Am Westende des Südflügels grenzen Röt, Muschelkalk und Keuper gegen Lias. Hier setzt sich in der Kreide die herzynische Streichrichtung noch nahezu 1000 m nach Westen fort.

Im Bereich des Strukturschlusses im Westen zeigt die Grenzfläche Salinar/Deckgebirge ein anderes Verhalten als in der übrigen Asse. Sie weist vor allem im Westen und Süden eine, das Deckgebirge wesentlich stärker durchgreifende Lage auf, sodaß man vom Salzstock von Groß Denkte sprechen kann (KALKA 1962). Tektonische Bewegungen haben hier sicher noch im späten Pleistozän, wenn nicht gar im Holozän stattgefunden. So stellte KALKA (1962, S. 31 - 32) im schräggestellten Rätsandstein nördlich Groß Denkte um die Vertikale pendelnde Störungen fest, welche horizontal verlaufende Brauneisenbänder (Ausfällungen im Grundwasser) verwerfen. HARK (1953 u. 1954, zit. in KALKA 1962, S. 35 - 36) wies durch Analyse der Beziehungen zwischen dem Gefälle der Altenau und dem ihrer Talaue etwa 500 m westlich Klein Denkte pleistozäne, wenn nicht gar holozäne Bewegungen nach.

Auch über eine Beurteilung des Ausmaßes der am Salzstock von Groß Denkte noch heute wirksamen Ablaugungsvorgänge (siehe III. 6.3) lassen sich Anhaltspunkte für junge Hebungen des Salzkörpers finden.

Abgesehen von dem Bereich intensiver Bruchtektonik bei Groß Denkte und einer vom Lias bis an das verstürzte Deckgebirge reichenden Querstörungszone nordöstlich Wittmar, tritt östlich des Schachtes Asse II ein weiteres bruchtektonisches Hauptelement in Erscheinung. Eine Störungszone, die etwa längs der Straße von Remlingen nach Groß Vahlberg in einem morphologischen Einschnitt verläuft, trennt die Asse im engeren Sinn (Asse-Höhenzug) im Westen von einem Klein Vahlberger Abschnitt im Osten. Sie bewirkt im Deckgebirge sowohl eine horizontale (ca. 100 - 200 m) als auch eine vertikale (300 - 400 m) Versetzung, bei der die Ostscholle relativ abgesunken ist. Diese Störungszone reicht nach Nordosten bis in das Hilskonglomerat, nach Süden ist sie unter einer Decke quartärer Sedimente nicht genauer zu verfolgen. In der relativ abgesenkten Ostscholle ist im Gegensatz zur Asse i.e.S. noch Dogger erhalten. Im Oberen Valendis und Unteren Hauterive, während der Ablagerungszeit des Hilskonglomerates bzw. möglicherweise schon während der vorausgegangenen Abtragungsperiode ist an dieser Störung tektonische Aktivität nachzuweisen (KALKA 1962).

Gegen die Asse i.e.S. mit einem Streichen von ca. 130° - 135° ist der Klein Vahlberger Abschnitt durch ein flacheres Streichen von 100° - 120° abgesetzt. Im Nordflügel dieses Abschnittes fehlen der gesamte Buntsandstein und zumindest Teile des Unteren Muschelkalkes. Im Südflügel liegen an der, das verstürzte Deckgebirge begrenzenden Störung ebenfalls nur Reste des Unteren bzw. Mittleren Muschelkalkes.

Betrachtet man den inneren Bau des Zechsteinsalzkörpers, wie er durch die Schachtanlagen Asse I und Asse II aufgeschlossen ist (Abb. 6 und Abb. 7), so stellt man ähnlich wie in den Deckschichten einen asymmetrischen Bau fest. Er äußert sich in einer generell SW gerichteten Vergenz der Salzsättel und Mulden. Der Zechsteinhauptsattel streicht parallel zum Deckgebirge. Der Faltenpiegel des Kalilagers steigt von Schacht Asse II nach Schacht Asse I um etwa 300 m (von ca. 300 m unter NN auf $\pm$ NN) an. Ähnlich verhält sich der Salzspiegel, der im Schacht Asse II bei 93 m unter NN, auf der Höhe des Schachtes Asse I jedoch bereits bei 55 m über NN liegt.

3.2 Die geologische Situation in der Umgebung des Schachtes Asse II

Zur Ergänzung der älteren geologischen Karten und als Grundlage für die Wahl der Ansatzpunkte zweier hydrologischer Untersuchungsbohrungen (H3 und H4) wurde im Frühjahr 1969 die unmittelbare Umgebung des Schachtes Asse II im Maßstab 1:10000 geologisch aufgenommen. Diese Kartierung sollte keine feinstratigraphische Spezialkartierung ersetzen, welche vor allem die neuen Methoden der Rötstratigraphie (HINZE 1967) zu berücksichtigen hätte. Da sie jedoch einige, für die Lösung hydrogeologischer Fragen wesentliche Änderungen im geologischen Kartenbild erbrachten, werden ihre Ergebnisse hier kurz mitgeteilt.

Der kartierte Bereich (siehe Abb. 8) ist stärker tektonisch gestört, als man dies aufgrund der geologischen Karten von WOLDSTEDT und HARBORT sowie von KALKA erwarten würde. Das betrifft sowohl den Nord- als auch den Südflügel der Asse i.e.S., also westlich der großen Querstörungszone. Im Kartenbild erscheint dadurch (und nicht durch eine bruchlose Verbiegung des Südflügels wie in den Karten von WOLDSTEDT, HARBORT und KALKA) der Streifen verstürzten Deckgebirges stark verengt. Die Annäherung der beiden Strukturflügel wird im wesentlichen durch struktureinwärts geneigte Abschiebungen bewirkt, welche im Zuge des Abbaus der Struktur, d.h. durch Zubruchgehen des Satteltgewölbes und Ablaugung des Zechsteinsalzes entstanden sein müssen. Hierzu gehört eine bogenförmig verlaufende Abschiebung knapp nördlich Schacht Asse II, welche die Basis der Hauptrogensteinzone mit der etwa 2 m mächtigen Rogensteinbank um etwa 150 m versetzt.

Demgegenüber stehen Bewegungen an Verschiebungsflächen, vor allem im Nordflügel, welche dem aufdringenden Zechsteinsalz Platz schufen. So schneidet eine steil nach NNW bis NW einfallende und ca. 80° streichende Abschiebung die Hauptrogensteinzone diagonal, um im Mittleren Buntsandstein bzw. im Röt in eine streichende Richtung einzuschwenken. Der horizontale Versetzungsbetrag ist 50 - 60 m. Im Mittleren Buntsandstein und im Röt verursacht diese

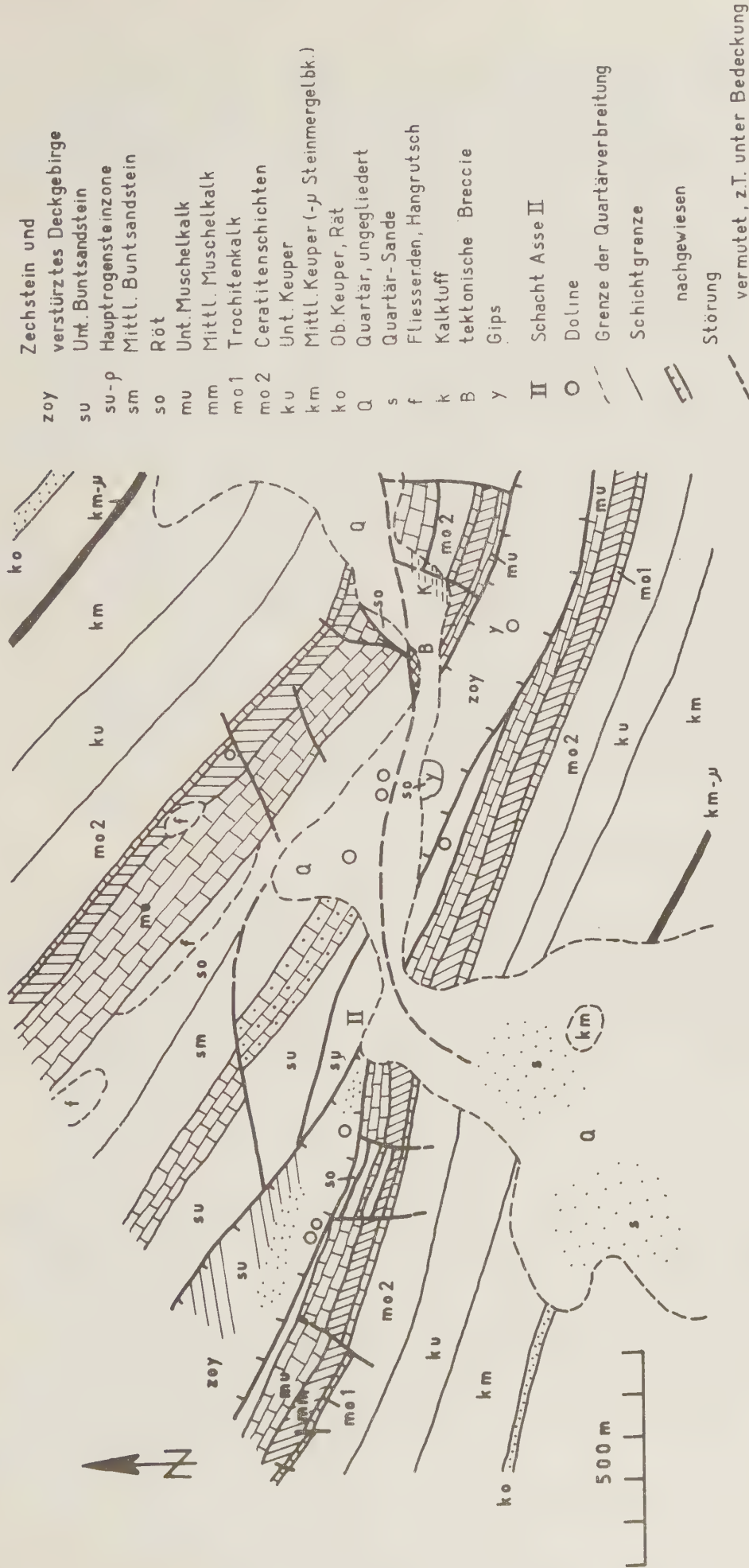


Abb. 8: Geologische Kartenskizze der Umgebung des Schachtes Asse II

Störung eine Schichtreduktion, die in einer Verringerung der Ausstrichbreiten sichtbar wird. Die Störung dürfte bereits in einer frühen Bewegungsphase als synthetische Abschiebung entstanden und anschließend in eine steilere Lage gedreht worden sein.

Mit einem ähnlichen Streichen von ca. 70° durchschlägt eine weitere, etwas nach Osten versetzte, steil westfallende Abschiebung den gesamten Unteren und Mittleren Muschelkalk und den Trochitenkalk. Im Trochitenkalk ist noch eine horizontale Versetzung der beiden Schollen um 15 - 20 m festzustellen. Das Profil der Bohrung H 4 (Siehe Abb. 5) ergab eine tektonische Mächtigkeitsreduktion im Unteren Muschelkalk um mindestens 15 m auf ca. 95 m. In der Bohrung folgt unter Wellenkalk 1 der Obere Buntsandstein (Röt 4) mit grauen und violetten Tönen und Gips bzw. Anhydrit. Es fehlen also die gesamte Basiskonglomeratzone und möglicherweise Teile des Röt 4.

Verlauf und Charakter der großen Querstörung, welche die Asse im engeren Sinne vom Klein Vahlberger Abschnitt trennt, sind im einzelnen nicht genauer als auf den älteren geologischen Karten festzulegen, da die Störung über weite Strecken von quartären Sedimenten überdeckt ist.

Quartäre Deckschichten sind nicht nur im kartierten Bereich, sondern auch an der gesamten Asse weiter verbreitet und mächtiger als früher angenommen wurde. Diese Tatsache gewinnt vor allem dann an Bedeutung, wenn man den Verlauf von Störungen genauer verfolgen will. In einigen hydrogeologisch interessanten Gebieten, wie nördlich Remlingen, bei Wittmar und Groß Denkte sind mit großer Wahrscheinlichkeit weitere Störungen unter quartärer Bedeckung verborgen.

Neben den echten tektonischen Störungen treten auch durch Subrosionsvorgänge bewirkte Lagerungsstörungen auf. Diese machen sich nicht nur in dem über dem Zechsteinsalzkörper verstürzten Deckgebirge und in den randlich angrenzenden Flankenteilen, sondern auch in den Deckschichten über dem ausgelaugten Rötssalinär und dem Salinar des Mittleren Muschelkalks bemerkbar. So ist in der Umgebung der Bohrung H 4 in Oberflächenaufschlüssen

ein um ca. $10 - 15^{\circ}$ flacheres Einfallen des Unteren Muschelkalkes zu beobachten als in der Bohrung selbst. Dieses flachere Einfallen ist wahrscheinlich durch ein Nachsinken dieser Schichten über ausgelaugtem Rötsalinar verursacht. Im Nordflügel fällt weiterhin eine im Streichen stark schwankende Ausstrichsbreite des Mittleren Muschelkalkes auf. Sie kann auf unterschiedliche Ablaugungsintensität im Muschelkalksalinar und auf lokale Nachsturzbewegungen im Trochitenkalk zurückgeführt werden. Westlich Mönche-Vahlberg ist über dem Mittleren Muschelkalk des Nordflügels, in einem Bereich mit besonders zahlreichen Erdfällen, eine Scholle aus Trochitenkalk bis in südfallende Lagerung verkippt.

Zusammenfassend ergeben sich aus der Kartierung in der Umgebung des Schachtes Asse II und den Übersichtsbegehungen folgende, für die hydrogeologische Bearbeitung wesentliche und neue Punkte:

1. Das mesozoische Deckgebirge der Asse ist insgesamt stärker gestört als früher angenommen wurde (WOLDSTEDT, HARBORT, KALKA). Dies betrifft vor allem den Nord- und den Südflügel um den Schacht Asse II und den Nordflügel bei Groß Denkte.
2. Die Mächtigkeiten von Röt und Mittlerem Buntsandstein sind mit jeweils 100 - 120 m um 50 - 100 m geringer als früher (KALKA 1962; WOLDSTEDT 1931 a,b) angenommen wurde. Ob allein eine Schichtreduktion durch Auslaugung (im Röt) bzw. ein paläogeographisch bedingter Schichtenausfall (im Mittleren Buntsandstein) diese geringere Mächtigkeit zu erklären vermag oder ob schichtparallele Verwerfungen mitwirkten, könnte nur durch feinstratigraphische Aufnahmen entschieden werden.
3. Die genaue Verbreitung, Mächtigkeit und Beschaffenheit des Quartärs südlich Schacht Asse II und zwischen Groß Denkte und Wendessen müßte, da dort hydrologisch bedeutsame Störungszonen zu vermuten sind, durch Flachbohrungen geklärt werden.

3.3 Klufttektonik

Kleintektonische Studien wurden in dieser Arbeit nur insoweit betrieben, als sie für hydrogeologische Probleme von Interesse waren. Eine klufttektonische Analyse mit genetischer Zielsetzung, die auch Aussagen über eventuelle Zusammenhänge zwischen der Genese und der hydrologischen Wertigkeit von Kluftscharen ermöglichen würde, mußte unterbleiben, da sie wegen der komplexen tektonischen Verhältnisse nicht losgelöst von einer, die ganze Asse umfassenden, Strukturanalyse durchgeführt werden kann. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich daher im folgenden auf die rein beschreibende Behandlung der räumlichen Anordnung und der Beschaffenheit der Klüfte.

KALKA (1962) führte eine tektonische Analyse der Asse auch unter Zuhilfenahme von Kluftmessungen durch. Er blieb jedoch in ihrer Ausdeutung im Formalen, indem er ganz bestimmten großtektonischen Richtungen gleichgerichtete Kluftscharen zuordnete. Er unterschied in seinen Diagrammen bis zu 4 Kluftsysteme (8 Kluftscharen) ohne durch statistische Methoden ihre Relevanz zu belegen. Hier scheint KALKA in der Ausdeutung des lediglich in Form von Richtungsrosen dokumentierten Materials zu weit gegangen zu sein.

In einem auf 466 eigenen Kluftmessungen basierenden Diagramm (dargestellt im Schmidtschen Netz, untere Halbkugel, Abb. 9) zeigen sich drei deutlich unterscheidbare Klufthauptmaxima, zwischen 10° und 30° , 50° und 60° sowie 90° und 110° . Sie fallen überwiegend mit 60° bis 80° nach Westen, Südosten und Süden ein. Es handelt sich fast durchweg um Klüfte, die quer oder diagonal zum Schichtstreichen von 130° bis 135° verlaufen. In Abb. 9 ist für je 50 gemessene Kluftwerte jeweils ein gemittelter Wert für die zugehörige Schichtlagerung eingetragen. Die meisten Klüfte ordnen sich (wie auch auf den entsprechenden, hier nicht dargestellten Einzeldiagrammen nachgewiesen werden kann), längs Schichtflächengroßkreisen (π -Kreisen) an. Da die Klüfte im Diagramm der Abb. 9 hauptsächlich im Nordflügel bzw. im überkippten, nordfallenden Südflügel gemessen wurden, sind die Maxima der nach Osten bzw. Norden einfallenden Klüfte weniger stark ausgeprägt.



BELEGDICHTEN

0 - 1 - 2 - 4 - 6 %

Y X SCHICHTFLÄCHENPOLE
NORMAL, ÜBERKIPPT

466 KLUFTFLÄCHENPOLE

Abb. 9: Kluftdiagramm, gesamte Asse

Betrachten wir nun die Verteilung der einzelnen Klufttrichtungen über die gesamte Asse (siehe tektonische Karte im Anhang). In den Diagrammen die Groß Denkte am nächsten liegen fallen die Nord-Süd orientierten Klüfte besonders auf. Da diese Richtung in den übrigen weiter östlich gelegenen Diagrammen fehlt darf man annehmen, daß es sich hierbei um Klüfte handelt, welche mit den im Raum Groß Denkte und westlich davon auftretenden rheinisch gerichteten Störungen in ursächlichem Zusammenhang steht.

In den übrigen Diagrammen treten an Stelle der Nord-Süd orientierten Klüfte mehr oder weniger senkrecht zum Schichtstreichen angeordnete Kluftscharen. Wesentliche Unterschiede zwischen Nord- und Südflügel ergeben sich nicht. Ost-West verlaufende Klüfte treten in den Diagrammen A und E (siehe tektonische Karte) ebenfalls stark, im Diagramm B schwächer, aber dennoch deutlich in Erscheinung. Diese Ost-West Klufttrichtung fehlt in den Diagrammen C und D weitgehend. In ihnen ist, im Gegensatz zu den anderen Diagrammen, eine einzige Kluftschar dominierend, nämlich die der NNE-SSW bis NE-SW Richtung. Da diese Klüfte in steil gestellten bis überkippten Schollen des Südflügels bei Wittmar gemessen wurden, kann hier ein genetischer Zusammenhang mit ähnlich orientierten Störungsflächen, an denen die Verkipfung dieser Schollen erfolgte, angenommen werden.

In den Diagrammen A, B und E sind dagegen jeweils zwei, spitzwinklig bzw. stumpfwinklig zur Schichtung verlaufende Klufttrichtungen etwa gleich stark ausgebildet.

Parallel zur Schichtung streichende Klüfte sind in allen Diagrammen in nur geringer Zahl vorhanden.

Für eine Angabe der Klüftigkeit, z. B. in Form der Klüftigkeitsziffer $k = \frac{n}{l}$ nach STINI (1925) (n = Zahl der Kluftschnitte, l = Länge der Meßgeraden in Meter; L. MÜLLER 1963, S. 230 ff), fehlen größere Aufschlüsse, die eine, für die statistische Auswertung ausreichende Länge der Meßgeraden erlauben. Um brauchbare Aussagen über die Verteilung der Klüftigkeit machen zu können müßte bei der stark wechselnden Störungstektonik auch eine größere Aufschlußdichte vorliegen. Messungen in zwei Muschel-

kalkaufschlüssen (Schraderscher Steinbruch bei Groß Denkte und Steinbruch beim Waldhaus zur Asse) ergaben Werte für k , die zwischen 2 und 7 liegen, und einer z. T. guten Klüftigkeit entsprechen. Klüfte, welche mehrere Gesteinsbänke durchschlagen, sind allerdings etwas seltener zu beobachten.

Eine Zuordnung bestimmter Kluftflächenausbildungen zu bestimmten Klufttrichtungen ist offenbar nicht gegeben. Das gleiche gilt für die Kluftfüllungen. Kalzitbeläge bis zu einer Stärke von mehreren Millimetern sind in allen Klufttrichtungen häufig zu beobachten und zwar als faserige Beläge wie auch in Form von Kristallrasen.

Die Auflockerung des Gesteinsgefüges entlang der Klüfte ist in nahezu allen Aufschlüssen schon so weit fortgeschritten, daß über die ursprünglichen Kluftweiten nichts mehr gesagt werden kann. Sämtliche Steinbrüche, welche für Messungen der Kluftweiten in Frage kämen, sind schon seit 50 oder mehr Jahren aufgelassen.

III. HYDROGEOLOGIE

1. Allgemeines

Der gesamte Asse-Höhenzug zwischen Groß Denkte und Klein Vahlberg gehört dem Oberflächeneinzugsgebiet der Altenau bzw. der Oker und damit dem der Weser an. Knapp östlich des Arbeitsgebietes quert die Hauptwasserscheide, welche die Einzugsgebiete von Weser und Elbe trennt, den Asse-Heeseberg-Zug und verläuft knapp östlich der Gemeinde Remlingen nach Süden in Richtung Großes Bruch und Großer Fallstein. In den Namen Westerbeek und Osterbeek zweier nach Westen bzw. Osten entwässernden Gerinnen bei Remlingen kommt dies zum Ausdruck.

Eine quantitative Erfassung des Wasserhaushaltes ist, da das Arbeitsgebiet nur einen kleinen Ausschnitt des Einzugsgebietes der Altenau darstellt, für den keine ausreichenden Abflußmessungen vorliegen, nicht möglich. Tägliche Abflußmessungen liegen nur von der Altenau am Pegel Wendessen (Abb. 11) vor. Vom Rothebach sind bei Klein Denkte monatliche Abflußmessungen aus den Jahren 1965 bis 1968 vorhanden (Tab. 4).

Nach WUNDT (in GRAHMANN 1958) beträgt die mittlere kleinste Abflußspende (MNq), ein Maß für den Grundwasserabfluß, in unserem Gebiet etwa $1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Diese Größe stimmt mit den Abflußmessungen am Altenaupegel Wendessen überein, aus denen sich für die Jahre 1964 bis 1967 bei einer MNQ von 107 l/s und einem Niederschlagsgebiet (F_N) von $117,6 \text{ km}^2$ eine MNq von $0,91 \text{ l/s km}^2$ errechnen läßt.

Geht man von den an der Asse gemessenen Quellschüttungen aus, so erhält man bei einem Einzugsgebiet von 15 km^2 (= Ausstrichsfläche der gesamten Trias) und einer minimalen Gesamtschüttung von 13 l/s eine Flächenspende von $0,865 \text{ l/s km}^2$; bei einer maximalen Gesamtschüttung von 30 l/s eine Spende von $2,0 \text{ l/s km}^2$. Bedenkt man, daß in dieser Rechnung nur der durch die Quellen abfließende Teil des Grundwassers erfaßt ist, so wird man den wahren gesamten Grundwasserabfluß aus dem Asse-Höhenzug eher in einer maximalen Quellwasserspense von 2 l/s km^2 sehen müssen.

Abb. 10: NIEDERSCHLAGSHÖHEN AN DER MESSSTELLE SCHACHT ASSE 2

---- Monatsmittel der Jahre 1891-1960 (Station Zur Asse)

mm

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0



1968

1969

1970

Einige wesentliche meteorologische Daten sind im folgenden in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Niederschläge und Lufttemperaturen der Meßstellen
Wolfenbüttel, "Zur Asse" und Braunschweig

N i e d e r s c h l a g s m e n g e n :

Meßstelle Wolfenbüttel: (1931 - 1960; 88 m ü. NN)

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Spt	Okt	Nov	Dez	Jahr
36	39	31	41	53	62	82	66	46	48	42	55	579 mm

Meßstelle "Zur Asse": (1891 - 1950; 145 m ü. NN)

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Spt	Okt	Nov	Dez	Jahr
43	37	37	43	51	58	79	67	49	48	40	41	593 mm

L u f t t e m p e r a t u r e n :

Station Braunschweig: (1931 - 1960)

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Spt	Okt	Nov	Dez	Jahr
0,1	0,3	3,7	8,1	12,7	15,8	17,4	17,1	13,9	9,1	4,9	1,4	8,7 °C

Wie sich aus der Tab. 3 ergibt haben die Niederschläge ihr Maximum in den Monaten Mai bis August (Sommermaximum). Die durchschnittliche Dauer der Schneedecke beträgt 100 Tage (im Mittel vom 8.12. - 18.3.), bei nur geringer Schneehöhe. Abb. 10 zeigt die Niederschlagsmengen an der, im Januar 1968 von der GSF eingerichteten Niederschlagsmeßstelle am Schacht Asse II für die Jahre 1968 und 1969 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel der Meßstelle "Zur Asse". Mit einer Niederschlagshöhe von 509 mm liegt das Jahr 1968 um etwa 14 % unter dem langjährigen Mittel. Das Jahr 1969 stellt dagegen mit 597 mm ein Normaljahr dar. Beide Jahre haben einen extrem niederschlagsarmen Juli (15 mm und 17 mm, gegenüber 76 mm im 60-jährigen Mittel).

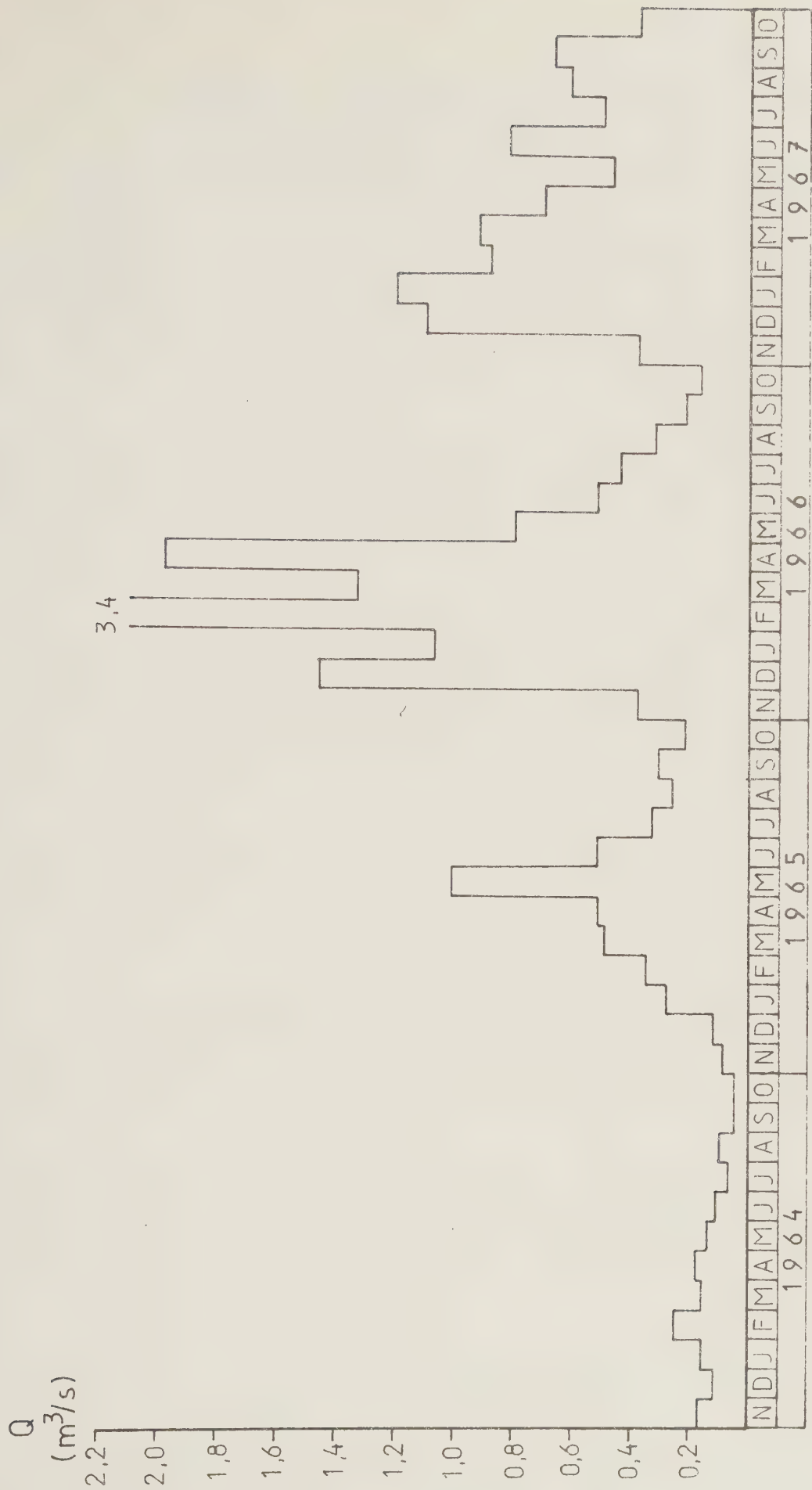


Abb. 11: Mittlerer Abfluß der Altenau am Pegel Wendessen ($F_N = 117,6 \text{ km}^2$)

Tab. 4:

Abflußmessungen am Rothebach

r 44 0312 Kleindenkte, Rothebach - km 0,35 li, Höhe des Bezugspunktes über NN : 80,68 m				
h 57 7976 Betriebspegel Verband "Mittlere Oker"; $F_N = 15,7 \text{ km}^2$; Q in m^3/s				
Abflußjahr Datum	1965 Q	Abflußjahr Datum 1966 Q	Abflußjahr Datum 1967 Q	Abflußjahr 1968 Datum Q
04.11.64	0,005	10.11.65 0,024	24.11.66 0,058	23.11.67 0,039
03.12.64	0,004	01.12.65 0,140	08.12.66 0,039	16.01.68 0,620
14.01.65	0,011	11.01.66 0,072	25.01.67 0,120	29.02.68 0,071
17.02.65	0,015	11.02.66 0,300	22.02.67 0,110	21.03.68 0,110
18.03.65	0,026	29.03.66 0,170	28.03.67 0,082	24.04.68 0,058
23.04.65	0,018	21.04.66 0,170	27.04.67 0,045	31.05.68 0,018
20.05.65	0,031	18.05.66 0,067	25.05.67 0,032	26.06.68 0,027
02.07.65	0,016	03.06.66 0,029	20.06.67 0,074	31.07.68 0,016
02.08.65	0,012	29.07.66 0,062	13.07.67 0,055	regelmäßige Beobachtungen ab 31.07.68 eingestellt.
11.08.65	0,023	31.08.66 0,037	28.08.67 0,044	
14.09.65	0,019	15.09.66 0,025	21.09.67 0,048	
26.10.65	0,012	18.10.66 0,020	31.10.67 0,038	27.08.68 0,013

Während im Jahr 1968 das Sommermaximum auf den September und Oktober fällt (62 mm bzw. 73 mm) sind im Jahr 1969 die Monate April und Mai mit überdurchschnittlichen Niederschlagshöhen (90 mm bzw. 71 mm) zu verzeichnen.

Für die Lufttemperatur sind die Meßwerte der Meßstation Braunschweig aus den Jahren 1931 - 1960 angegeben, da für die Meßstellen Wolfenbüttel und "Zur Asse" keine Temperaturmessungen vorlagen.

2. Die hydrogeologischen Eigenschaften der Gesteine

2.1 Arten der Wasserführung

Man unterscheidet zwischen der Gesteinsdurchlässigkeit, d.h. der durch die Gesteinsporen bedingten Durchlässigkeit, der Trennfugendurchlässigkeit und der Gebirgsdurchlässigkeit welche als die Summe von Gesteins- und Trennfugendurchlässigkeit zu verstehen ist.

Die am Aufbau der Asse beteiligten, tektonisch beanspruchten Gesteine führen das Grundwasser meist nur auf ihren Klüften und Schichtfugen (Kluftwasserleiter). Porenwasser dürfte nur in den gering mächtigen Sandsteinen des Mittleren Buntsandsteins (Volpriehausensandstein, Sollingsandstein) eine untergeordnete Rolle spielen. Da Untersuchungen fehlen, können über die effektiven Porositäten der Sandsteine und ihre Gesteinsdurchlässigkeit keine Angaben gemacht werden.

MATTHESS (1970) gibt aus dem nordhessischen Buntsandstein (Sollingsandstein) Porositäten von 2,3 - 6 Vol% an. Nach HAUTHAL (1967) beträgt die Gesteinsdurchlässigkeit in Sandsteinen der Merseburger Buntsandsteinplatte nur 3 - 5 % der Gebirgsdurchlässigkeit.

Auch an der Asse kann man davon ausgehen, daß für die Wasserführung nur die Trennfugen, wie Klüfte, Störungsflächen und Schichtfugen wesentlich sind.

Neben den Klüften sind auch die Schichtfugen für die Wasserdurchlässigkeit des Gebirges von Bedeutung. Dies gilt in

erster Linie für die Bereiche des Südflügels der Asse, wo die Schichtfugen sehr steil bis saiger stehen; aber auch für den Nordflügel, wo das Schichtfallen immerhin noch zwischen 30 und 50 Grad beträgt. Vor allem in Oberflächennähe wird so eine Öffnung und Auflockerung der Schichtfugen begünstigt. Damit ist wiederum eine wesentliche Voraussetzung für die Wasserwegsamkeit von Schichtflächen geschaffen. Rauhe bis wellige Schichtflächen sowie tonige Trennlagen, wie sie vor allem im Wellenkalk zu beobachten sind, setzen die Wasserdurchlässigkeit herab, sodaß der Einfluß der Schichtflächen auf die Gebirgsdurchlässigkeit sicherlich räumlich stark variiert. Quantitative Angaben über die Wasserwegsamkeit der Schichtfugen können bei den derzeitigen hydrogeologischen Aufschlußverhältnissen nicht gemacht werden.

In den Gips- und Anhydritgesteinen hat die lösende Wirkung des Grundwassers zu einer Erweiterung der Gesteinsfugen und teilweise zur Bildung größerer Hohlräume geführt (Verkarstung; Bildung von Einsturzdolinen). Durch den relativ hohen Tongehalt der Gipsgesteine sowie der über- und unterlagernden Serien kann es zur Einschwemmung tonigen Materials in die Lösungshohlräume kommen. Dieser Vorgang reduziert natürlich die Wasserwegsamkeit. Die gleiche Wirkung hat die Neubildung von Faser-gips. An den Kernen einer Bohrung, die knapp westlich des Schachtes Asse II stark zerrütteten Unteren Buntsandstein sowie den Gipshut und Oberen Zechstein durchteufte, läßt sich im Gipshut das teilweise oder gänzliche Zusitzen von Lösungshohlräumen durch neugebildeten Fasergips und durch eingeschwemmte Tonsubstanz feststellen.

2.2 Die grundwasserleitenden Gesteine

Quantitative Angaben über die Wasserführung der an der Asse anstehenden triassischen Gesteine sind kaum möglich, da Bohrungen im Bereich des Grundwassers weitgehend fehlen. Lediglich aus dem Rätsandstein wird in zwei Gemeinden (Wittmar und Mönche-Vahlberg) über Bohrbrunnen Trinkwasser entnommen. Die übrigen Gemeinden beziehen ihr Trinkwasser aus Quellfassungen (Groß Denkte, Groß Vahlberg) oder aus anderen geologischen

Formationen im Assevorland, wie aus der Oberen und Unteren Kreide (Wendessen, Remlingen, Kissenbrück).

2.2.1 Verkarstete Gipsgesteine

Zusammenhängende schichtförmige Gipsablagerungen kommen an der Asse im Röt und im Mittleren Muschelkalk vor. Weiterhin ist über der Zechsteinsalzlagerstätte ein Gips- bzw. Anhydrit-hut ausgebildet. In den mehr tonig-sandigen und brecciösen Hutbildungen, die sich darüber anschließen ist Gips, mit Ausnahme größerer stockförmiger Einlagerungen (Meter bis Zehnermeter) nur unregelmäßig und untergeordnet vorhanden, entsprechend dem jeweiligen örtlich schwankenden Verhältnis von Zechsteinresiduen zu verstürzten Flankengesteinen. Alle Gipsvorkommen größerer zusammenhängender Verbreitung sind durch die lösende Wirkung des Grundwassers verkarstet. An der Oberfläche wird diese Verkarstung durch Erdfälle (Dolinen) nachgezeichnet.

2.2.1.1 Hutbildungen über dem Zechsteinsalz

Zu den Hutbildungen über dem Zechsteinsalz ist neben dem Gipshut im eigentlichen Sinne, also der reinen Zechstein-residualbildung, auch das darüber liegende Trümmergebirge zu zählen. Dieses Trümmergebirge besteht im wesentlichen aus einem, teilweise brecciösen, Gemenge von Zechstein-residualgips und -letten und verstürztem Buntsandstein. Wegen der geringen Kenntnis über die jeweilige örtliche Zusammensetzung der Hutgesteine lassen sich nur begrenzte Aussagen über die Ausdehnung und Intensität der Verkarstung machen. Immerhin kann man sagen, daß im Trümmergebirge die Verkarstung unregelmäßiger ist als im Gipshut, der zum überwiegenden Teil aus Gips und Anhydrit besteht. Nachdem an verschiedenen Stellen größere Buntsandsteinschollen ohne jeglichen Gipsgehalt in die Hutbildungen eingeschaltet sind dürfen wir über die ganze streichende Erstreckung des Rückstandsgebirges einen zusammenhängenden Karstwasserkörper nicht annehmen. Auch im eigentlichen Gipshut dürfte eine über größere Entfernung zusammenhängende Verkarstung sehr

erschwert sein. In einer Bohrung nahe Schacht Asse II wurde der Gipshut sogar trocken angetroffen.

Die unregelmäßige Verteilung der Erdfälle gibt mit einen Hinweis auf eine örtlich schwankende Verkarstung. Die Dolinen haben meist einen Durchmesser von 10 - 20 m. Östlich Groß Denkte (nördlich des Bleier Weges) ist in den letzten Jahrzehnten einige Male vom Auftreten neuer Erdfälle berichtet worden. So berichtet z. B. HOEHNE (1911, S. 25) von zwei wiederholt aufgefüllten Erdfällen östlich Groß Denkte zwischen der Bahnlinie und dem Bleier Weg, welche immer wieder nachsanken.

Außer einigen Solquellen bei Groß Denkte, welche insgesamt im Durchschnitt nicht mehr als 3 l/s schütten gibt es in den Hutbildungen keine hydrologischen Aufschlüsse. Die Schächte Asse I und Asse II sowie ein gemauerter Brunnen nahe des Schachtes Asse II erschließen überwiegend den randlich angrenzenden und teilweise stark zerrütteten Unteren Buntsandstein. Da diese verstürzten Buntsandsteinschollen im weitesten Sinne auch zu den Hutbildungen zu rechnen sind, seien hier im folgenden einige Angaben über die Wasserführung gemacht, die in diesen Bereichen beim Abteufen der Schächte Asse I und Asse II zu beobachten war.

Schacht Asse I

Teufe	jeweilige Gesamtwassermenge
11 m	nicht bekannt
41 m	" "
45 m	" "
47 m	" "
97 m	300 l/min
102 m	nicht bekannt
126 m	1500 l/min aus "poröser Kalkst.bk.
134 m	5 l/min
136 m	20 l/min
138 m	60 l/min
145 m	30 l/min

Schacht Asse II

Teufe	jeweilige Gesamtwassermenge
9 m	20 l/min
14 m	75 l/min
17,8 m	150 l/min
21,5 m	250 l/min
30 m	70 l/min
52 m	195 l/min
55 m	10 l/min

Angaben über tiefere Wasserzuflüsse waren nicht zugänglich

Zu diesen Angaben ist einschränkend zu bemerken, daß nicht die Schüttungsmessungen einzelner Zuläufe sondern nur die gesamten jeweils geförderten Wassermengen angegeben sind.

2.2.1.2 Schichtförmige Gipslager im Röt und Mittleren Muschelkalk

Hinweise auf eine Verkarstung in den schichtförmigen Gipslagern des Röt und Mittleren Muschelkalkes sind nur im Nordflügel der Asse zu finden. Im Südflügel ist durch die engräumige Zerlegung in einzelne gegeneindander verkippte und versetzte Schollen eine hydraulische Verbindung der einzelnen Teilschollen im Streichen, als eine wesentliche Voraussetzung für eine wirk-
same Verkarstung, erschwert. Die genaue Mächtigkeit der genannten Gipshorizonte ist unbekannt. Sie dürfte im Röt 20 - 30 m, im Mittleren Muschelkalk 10 - 15 m betragen. Sie stellt nicht die ursprüngliche Mächtigkeit des jeweiligen Salinars, sondern eine durch Ablaugung der chloridischen Salze entstandene reduzierte Mächtigkeit dar.

Die Erdfälle im Röt und im Mittleren Muschelkalk sind meist kleiner (Durchmesser 5 - 10 m) als die in den Hutbildungen des Zechsteins. An den Erdfällen im Mittleren Muschelkalk finden teilweise noch heute Einsturzbewegungen statt; dort ist die Tiefe der Erdfälle mit manchmal 5 - 6 m auch am größten. Im Gegensatz dazu sind die Dolinen im Röt meist flacher geböscht und durch Tone plombiert.

Ein weiterer Unterschied zwischen dem Gipslager im Röt und dem im Mittleren Muschelkalk besteht in der Lage der beiden Gipshorizonte zum Hangenden und Liegenden. Das Rötgipslager ist, vor allem nach oben hin, durch mächtige Tonsedimente gut abgedichtet. Dagegen folgt über dem Gips des Mittleren Muschelkalkes fast unmittelbar der gut geklüftete Trochitenkalk. Im Liegenden sind hier ebenfalls klüftige Kalke und Mergelsteine, nämlich die des Unteren Muschelkalkes vorhanden.

Zumindest der Trochitenkalk hat an einigen Stellen, vor allem südlich Mönche-Vahlberg, durch Erdfalltrichter Verbindung mit

dem Gipskarst des Mittleren Muschelkalkes. Niederschlagswasser das durch diese Erdfälle eindringt kann eine lokale Verstärkung der Gipsablaugung hervorrufen. Auch tektonisch entstandene Wasserbahnen im Trochitenkalk können sich auf die Intensität der Verkarstung im Mittleren Muschelkalk positiv auswirken. Darauf könnte z. B. die etwa 1 km nördlich Schacht Asse I im Mittleren Muschelkalk in einer Häufung von Erdfällen zum Ausdruck kommende, stärkere Verkarstung zurückzuführen sein. Eine Verkipfung einer kleineren Trochitenkalkscholle bis in südfallende Lagerung ist wahrscheinlich auf einen Nachsturz über ausgelaugtem Gips zurückzuführen.

Nördlich Groß Denkte sind die Karstwasserhorizonte des Röt und des Mittleren Muschelkalks durch eine Querabschiebung angeschnitten und es kommt zum Austritt verschiedener Quellen. Die Schüttungsmengen der Rötquellen sind wesentlich geringer (max. 0,5 l/s) als die des Mittleren Muschelkalks, die immerhin zwischen 2 und 5 l/s betragen.

2.2.2 Buntsandstein

Im U n t e r e n B u n t s a n d s t e i n sind es meist nur geringmächtige (im allgemeinen einige Dezimeter bis Meter mächtige) Bänke von Kalksandstein, Quarzsandstein und oolithischen Kalken (Rogenstein) welche, eingeschaltet in tonige Sedimente, wasserführend sein können. Vor allem in der Hauptrogensteinzone, aber auch in tieferen Abschnitten des Unteren Buntsandsteins häufen sich derartige Bänke, so daß man dann mit einer etwas größeren zusammenhängenden Mächtigkeit (max. 6 - 8 m) grundwasserführender Schichten rechnen kann.

In den Schächten Asse I und Asse II, welche die unteren z. T. gestörten Partien des Unteren Buntsandsteins durchfahren, wurde beim Abteufen in solchen Sandsteinbänken oftmals Wasserzuflüsse festgestellt (siehe Abschnitt 2.2.1.1).

Die hydrologische Untersuchungsbohrung H 3 (Profil siehe Abb. 4) traf die Hauptrogensteinbank etwa zwischen 40 und 50 m unter Gelände. Als dieser Horizont im Herbst 1969 angebohrt wurde,

trat bei ca. 46 m unter Gelände ein unerwarteter totaler Spülungsverlust ein. Selbst eine hochkonzentrierte Dickspülung konnte diese Verluste nur unwesentlich verringern. Erst eine Absperrung durch Vollrohre brachte eine leidliche Abdichtung. Injektionsversuche ergaben ein Schluckvermögen des Haupttrogensteins von 6 - 7 l/s. Die gewonnenen Kerne zeigten die oolithischen Kalke in den Bereichen zwischen 46 und 50 m unter Gelände unerwartet stark zerklüftet, kavernös und stellenweise mürbe verwittert. Teilweise hatte die Verwitterung auch an Schichtfugen und bindmittellarmen Oolithlagen mit großem Porenvolumen, angegriffen. Diese Verwitterungserscheinungen stehen wahrscheinlich in Zusammenhang mit einem jahreszeitlich stärker schwankenden Grundwasserspiegel. Die Grundwasserspiegelschwankungen sind nicht verwunderlich, da der Haupttrogenstein ein Oberflächeneinzugsgebiet von nur geringer Ausdehnung besitzt (siehe Anlage 1).

Quellwasseraustritte im Unteren Buntsandstein wurden nur bei Groß Denkte beobachtet (Meßstelle 26; $Q = 0,5$ l/s).

Eine Wasserführung des M i t t l e r e n B u n t s a n d - s t e i n s ist ebenfalls nur östlich Groß Denkte wo eine Reihe von Verwerfungsquellen austritt, zu beobachten.

Diese Quellen sind für die Wasserversorgung der Gemeinde Groß Denkte gefaßt; ihre Schüttung ist nicht genau bekannt, sie dürfte jedoch insgesamt nicht wesentlich mehr als 3 l/s betragen. Da die tektonischen Verhältnisse an den Quellmünder sehr komplex sind, ist nicht zu entscheiden welcher Anteil der Wasserführung aus dem Mittleren Buntsandstein selbst kommt und welcher aus dem angrenzenden Muschelkalk herbezogen wird. Die Betrachtung des Grundwasserchemismus wird hier weiter helfen (III. 4.5.2). Jedefalls treten mächtigere, wasserführende Sandsteinbänke (z.B. Sollingsandstein) wie sie vom südniedersächsischen Bergland her bekannt sind an der Asse höchstens in einer Mächtigkeit von wenigen Metern auf.

2.2.3 Muschelkalk

Neben dem bereits beschriebenen Gipshorizont des Mittleren Muschelkalks kommen auch die Kalk- und Mergelsteine des Unte-

ren Muschelkalks und der Trochitenschichten als Grundwasserleiter in Betracht.

Im U n t e r e n M u s c h e l k a l k sind es neben den Mergelsteinen des Wellenkalks, der an der Asse nur relativ wenige und dünne Tonlagen enthält, die härteren Kalke der Schaumkalkzone, der Terebratelbänke, der Oolithbänke und der Basis-konglomeratbänke welche wasserführend sein können.

Eine Wasserwegsamkeit des Muschelkalks ist nur möglich über eine wasserwegsame Klüfung. Wie aus den Kernen der Bohrung H 4 zu ersehen ist, sind unterhalb des Wasserspiegels die Klüfte im Wellenkalk meist glatt und geschlossen. Nur dort wo eine intensivere tektonische Beanspruchung stattfand ist eine Gesteinszertrümmerung eingetreten, welche allerdings auch wieder zu einem teilweisen bis völligen Schließen der offenen Klüfte durch feines Gesteinsmehl und Tone geführt hat. Die meist nur wenige Dezimeter mächtigen Hartkalkbänke sind über dem Wasserspiegel in der Bohrung H 4 teilweise durch Lösung von Ooiden schaumig verwittert. In größeren Teufen tritt diese Erscheinung zurück.

Die Lage des Grundwasserspiegels ist in der Bohrung H 4 durch einen scharfen Farbumschlag im Gestein gekennzeichnet. Oberhalb des Grundwasserspiegels herrschen gelbliche Verwitterungsfarben vor, darunter ist das Gestein unverwittert und grau.

Die in dieser Bohrung bisher zu beobachtenden Ergiebigkeiten (Injektionsversuch: 0,25 l/s; Pumpversuch: ca. 0,2 l/s bei etwa 30 m Absenkung) sind äußerst gering; wahrscheinlich ist die in den Gesteinsklüften liegende Dickspülung wenigstens z. T. für diese recht geringe Ergiebigkeit verantwortlich.

Abschließend kann man sagen, daß abgesehen vom Bereich über dem Grundwasserspiegel (in ca. 50 m unter Gelände) wo während des Abteufens Spülungsverluste von 1,5 - 2 l/s auftraten, die Durchlässigkeiten nur gering sein werden.

Der insgesamt etwa 10 - 12 m mächtige T r o c h i t e n - k a l k ist, im Gegensatz zu seiner dickbankigen Ausbildung am Elm, an der Asse in einzelne 0,5 m mächtige Bänke aufgelöst, zwischen denen plattige Mergelsteine und Kalke eingelagert sind.

An der Oberfläche sind diese Bänke oftmals schaumig verwittert und gut geklüftet. Sie stellen einen guten Grundwasserleiter dar, der jedoch durch seine geringe Mächtigkeit und seine steile Lagerung nur beschränkt ergiebig ist. Im Elm stellt dieser Horizont bedingt durch eine wesentlich größere Ausstrichsbreite und die erwähnte dickbankigere Ausbildung einen auch wasserwirtschaftlich bedeutenderen Aquifer dar.

An der Asse sind Quellaustritte im Unteren und Oberen Muschelkalk selten; sie beschränken sich auf den, durch eine Störung angeschnittenen Nordflügel der Asse nördlich Groß Denkte (beim Falkenheim) und den Bereich der Querstörungszone südlich Groß Vahlberg. Die Schüttungen dieser Quellen betragen jeweils um 1 l/s, beim Falkenheim insgesamt etwa 1 l/s (Meßstellen 20 und 36), südlich Groß Vahlberg etwa 1 - 3 l/s (Meßstellen 2 und 3).

2.2.4 Keuper

Der überwiegend tonige Untere und Mittlere Keuper führt lediglich in einer etwa 10 m mächtigen und nur im Ostteil der Asse ausgebildeten Steinmergelbank Grundwasser, das mengenmäßig jedoch unerheblich ist (2 Quellen mit je 0,05 - 0,5 l/s).

Im Oberen Keuper ist das Grundwasser in dem hier etwa 15 - 20 m mächtigen Rätsandstein von den Gemeinden Wittmar und Mönche-Vahlberg durch Bohrbrunnen erschlossen. In Mönche-Vahlberg wurde unter dunklen Tönen des Rät und Lias gespanntes Wasser angetroffen. Ein 24-stündiger Pumpversuch mit einer Entnahme von 2,8 l/s bewirkte eine Absenkung um 5,5 m. In niederschlagsreichen Perioden steht das Wasser im Brunnen bis an den Überlauf (2,3 m unter Gelände). Wenn auch vom Brunnen Wittmar Angaben über einen Pumpversuch nicht erhältlich waren, so darf man doch annehmen, daß aus ihm ähnliche Wassermengen entnommen werden können wie in Mönche-Vahlberg, also etwa 3 l/s.

2.2.5 Jura

Aus der geologischen Karte 1:25000, Blatt Schöppenstedt läßt sich entnehmen, daß eine im Jahre 1930 in der Nähe des Remlin-

ger Schwimmbades angesetzte, 18 m tiefe Bohrung Sedimente der Untersten Kreide und des Lias durchteuft haben muß. Ein damals angesetzter 7-tägiger Pumpversuch mit einer durchschnittlichen Entnahme von 2,9 l/s ergab zu Beginn eine Absenkung von 4 m, zu Ende des Pumpversuches eine Absenkung von 5,5 m. Der Anstieg erfolgte in 24 Stunden auf 2,5 m unter Ruhewasserspiegel. Diese Versuchsbohrung war seinerzeit wegen der ungünstigen chemischen Eigenschaften des geförderten Wassers, insbesondere wegen eines hohen Chlorid-Gehaltes, für eine Wasserversorgung der Gemeinde Remlingen als ungeeignet erachtet worden. Als wasserbringende Horizonte kommen der Posidonienschiefer, Sandsteine des Unterdogger und Kalkmergelsteine als Teile der Untersten Kreide in Betracht. Der Unterdogger keilt zwar auf der geologischen Karte knapp östlich der Bohrung aus, könnte jedoch in der Tiefe noch weiter nach Westen reichen. Die Unterste Kreide ist an dieser Stelle nicht als Hilskonglomerat ausgebildet, hat jedoch nach KALKA (1962, S. 9) Kalkmergel- und Mergelsteinbänke eingeschaltet die wasserführend sein können. Leider waren Angaben über das Bohrprofil nicht erhältlich, so daß wir weitere Schlüsse aus dieser Bohrung nicht ziehen können.

Ein etwa dem Verlauf der Straße nach Klein Vahlberg (ENE-WSW) folgende Störungszone, die in einer leichten Änderung der Streichrichtung der Steinmergelbank im Mittleren Keuper möglicherweise zum Ausdruck kommt, könnte jedoch in der Umgebung der Bohrung die Wasserwegsamkeit erhöht haben.

2.2.6 Kreide

Die wasserwirtschaftlich bedeutendsten Grundwasservorkommen im Arbeitsgebiet finden wir in den Gesteinen der Kreide und hier insbesondere in der Remlinger Mulde. Im Flammenmergel, im Cenomankalk, in den Turonplänern und im Senon des südlichen und westlichen Assevorlandes sind Grundwässer mit teilweise wesentlich größeren Ergiebigkeiten als in den triassischen Aquiferen des Asse-Höhenzuges erschlossen. Die Gemeinden Wendessen, Sottmar, Kissenbrück und Remlingen beziehen ihr Wasser aus diesen

Grundwasserhorizonten. Meist sind es klüftige Kalksteine und sandige Kalkmergelsteine, im Fall des Flammenmergels auch verkieselte Mergelsteine, welche Wasser führen. Beim Abteufen des Brunnens in Remlingen wurden in den Turonkalen auch Anzeichen für eine Verkarstung vorgefunden (Nachsacken des Meißels um einige Meter und gleichzeitiges Auftreten von gespanntem Wasser).

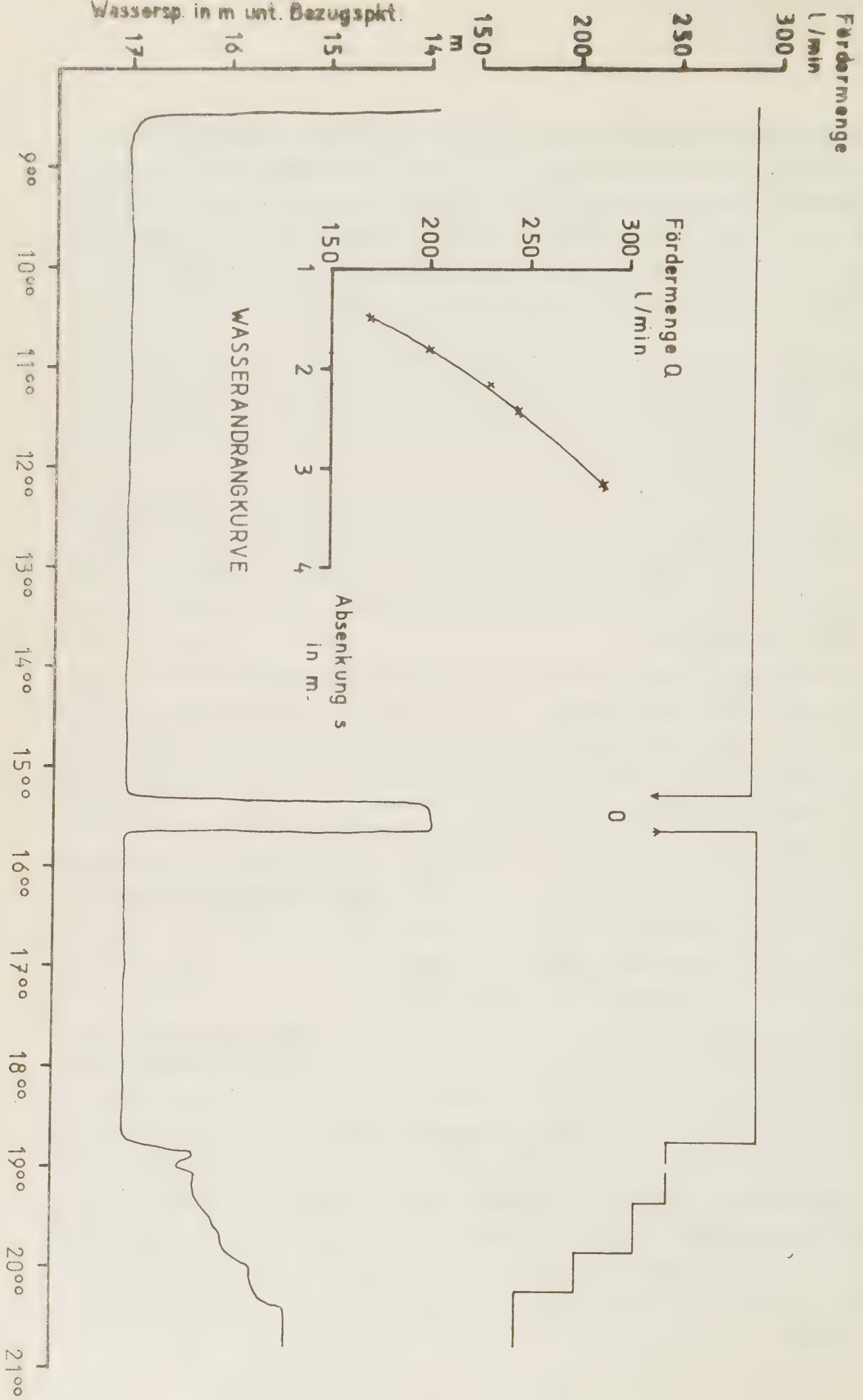
Die Ergiebigkeit im F l a m m e n m e r g e l am Brunnen der Gemeinde Wendessen beträgt 13,9 l/s bei 1,75 m Absenkung; über die Dauer des Pumpversuches aus dem diese Werte ermittelt wurden ist nichts bekannt.

C e n o m a n k a l k e brachten in der Versuchsbohrung Remlingen 2 bei einem kurzen Auspumpen (Dauer 3,5 Stunden) etwa 7 - 8 l/s bei unbekannter Absenkung. Bedeutende, und zu Anfang artesisch auslaufende, Wassermengen wurden erst in etwa 90 m Tiefe angetroffen.

In Remlingen fördert der bis 28 m unter Gelände mit Vollrohren ausgebaute Brunnen aus den T u r o n k a l k e n etwa 4,8 l/s bei 3 m Absenkung. Das entspricht einer spezifischen Ergiebigkeit von 1,6 l/s m. Ein Pumpversuch (Abb. 12) zeigt einen sehr steilen absteigenden Ast der Absenkungskurve und beim Ausschalten der Pumpe ein ebenso rasches Wiederansteigen. Die Wasserandrangskurve weicht nur leicht von der theoretisch für gesapnntes Wasser zu erwartenden Geraden ab. Nach mündlicher Mitteilung des Brunnenwartes ist an diesem Brunnen auch bei einer monatelangen ununterbrochenen Förderung von ca. 5 l/s der Absenkungsbetrag weitgehend konstant bei 3 m.

Sandige Mergelsteine des S e n o n s sind 1 km südöstlich Sottmar durch einen 30,5 m tiefen Bohrbrunnen erschlossen. Ein 72-stündiger Pumpversuch mit einer Dauerförderung von 5,55 - 6,95 l/s senkte den Ruhewasserspiegel nach einer Stunde um 7 m, nach 72 Stunden um 11,5 m bei allerdings noch nicht völlig eingetretenem Beharrungszustand. Nach Pumpversuchsende stieg der Wasserspiegel in 45 Minuten um nahezu 10 m. Etwa 1 km südlich Sottmer treten aus dem Senon mehrere starke Quellen aus, deren Gesamtschüttung im Durchschnitt sicher mehr als 10 l/s beträgt.

Abb. 12: PUMPERVERSUCH AM BRUNNEN REMLINGEN (Messstelle 9)



2.3 Schwerdurchlässige Gesteine

Charakteristisch für den Gesteinsverband an der Asse ist, daß neben den geringen Ausstrichsbreiten und der steilen Lagerung der grundwasserführenden triassischen Gesteine ein ständiger Wechsel von Grundwasserleitern und schwerdurchlässigen tonigen und mergeligen Gesteinen (siehe hydrochemische Karte und hydrogeologische Profilserie) stattfindet. Die Grundwasser-"Stockwerke" liegen hier vielfach nebeneinander, nicht übereinander. Nahezu undurchlässig sind die Tone des Röt, des Keupers, des Lias und der Unteren Kreide, obwohl stark geklüftete harte Tonsteine absolut auch größere Wassermengen führen können (siehe Abschnitt II 2.2.5). In der Mergel- und Kalkfolge der Ceratitenschichten, in der Ton- und Sandsteinfoolge des Mittleren Buntsandsteins und in den meisten Abschnitten des Unteren Buntsandsteins dürfte die Gesteinsdurchlässigkeit zumindest senkrecht zur Schichtung in der Regel nur sehr gering sein. Im Südflügel der Asse wurde jedoch örtlich durch tektonische Störungszonen Wasserwegsamkeiten auch quer zur Schichtung und durch ansonsten undurchlässige Lagen geschaffen (siehe III 6.1). Durch hydrochemische Untersuchungen konnten Migrationsbewegungen an diesen Störungslinien nachgewiesen werden. Die hydrochemischen Untersuchungsergebnisse liefern allerdings keine Aussage über die Wassermengen die hier zirkulieren.

3. Hydrologische Messungen an Quellen, Brunnen und Vorflutern

3.1 Allgemeines

Im Herbst 1968 wurde an der Asse vom Institut für Tieflagerung der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München (GSF) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiohydrometrie der GSF mit dem Aufbau eines hydrologischen Meßstellennetzes begonnen. Alle hydrologischen Aufschlüsse wie Quellen, Brunnen, Drainageabläufe und Vorfluter wurden dabei erfaßt (siehe Meßstellenverzeichnis und Lageplan der Meßstellen im Anhang). Ende 1970 waren 59 derartige Meßstellen vorhanden: zehn Brunnen, zwei ersoffene Schächte, elf gefaßte und dreiundzwanzig ungefaßte

Quellen, vier Drainagen und neun Vorflutermeßstellen. In meist 2 - 4wöchigen Abständen wurde an den Meßstellen die Schüttung (Q), die Wassertemperatur (t_w), die elektrolytische Leitfähigkeit (L) und der pH-Wert der Wässer gemessen. Probennahmen für hydrochemische Analysen, für Tritium- und Deuteriumbestimmungen und Radioaktivitätsmessungen (Gesamt-Betastrahlung, Alphastrahlung, Cs 137, Sr 90) erfolgten 6-wöchig bis halbjährlich. Diese Meßreihen und Probenahmen sollten sowohl zur Beweissicherung im Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe in der Asse dienen als auch Grundlagenmaterial für die hydrogeologischen Untersuchungen liefern.

Im folgenden wird nur auf die Grundwassertemperaturen und die Schüttungsmessungen eingegangen. Für die Auswertung der Leitfähigkeit und des pH-Wertes sei auf die Abschnitte III. 4.3.11 und 4.5 verwiesen.

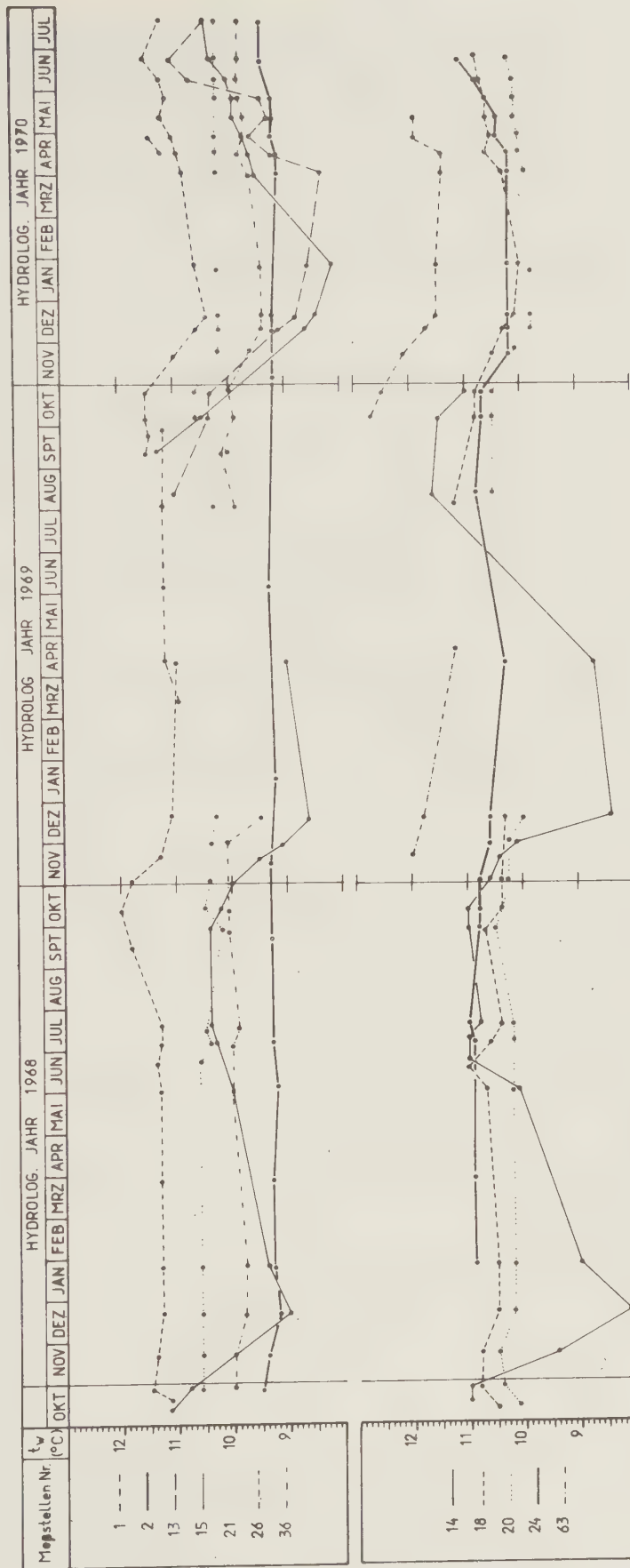
3.2 Grundwassertemperaturen

In Abb. 13 ist der Temperaturgang der Wässer einiger ausgewählter Quellen für den Zeitraum vom Oktober 1968 bis Juli 1970 graphisch dargestellt. Diese Auswahl umfaßt nur diejenigen Quellen bei denen für die Darstellung von Ganglinien eine zeitlich ausreichende Meßdichte vorlag und deren Schüttung überwiegend größer als 0,5 l/s, häufig 1 bis 2 l/s war. Darüberhinaus fanden auch von einzelnen Quellen repräsentative Temperaturwerte die in weniger dichtem Abstand gemessen wurden Berücksichtigung.

Aus diesen Messungen zeigte sich, daß sich die Quell- und Grundwässer zu Gruppen unterschiedlichen, jahreszeitlichen Temperaturverhaltens zusammenfassen lassen:

1. Quellwässer deren ausgeprägter Temperaturgang nahezu konform zum Temperaturgang der Vorfluter- und Drainagewässer ist (Abb. 14). Diese Quellwässer erreichen ihre höchsten Temperaturen im Oktober, ihre tiefsten im Dezember. Der Anstieg zu den Sommertemperaturen erfolgt ab Anfang März und ist weit weniger steil als der Abfall zu den Winterwerten. Es handelt sich dabei um

Abb.13: GRUNDWASSTERPERATUREN (t_w) AN DER ASSE

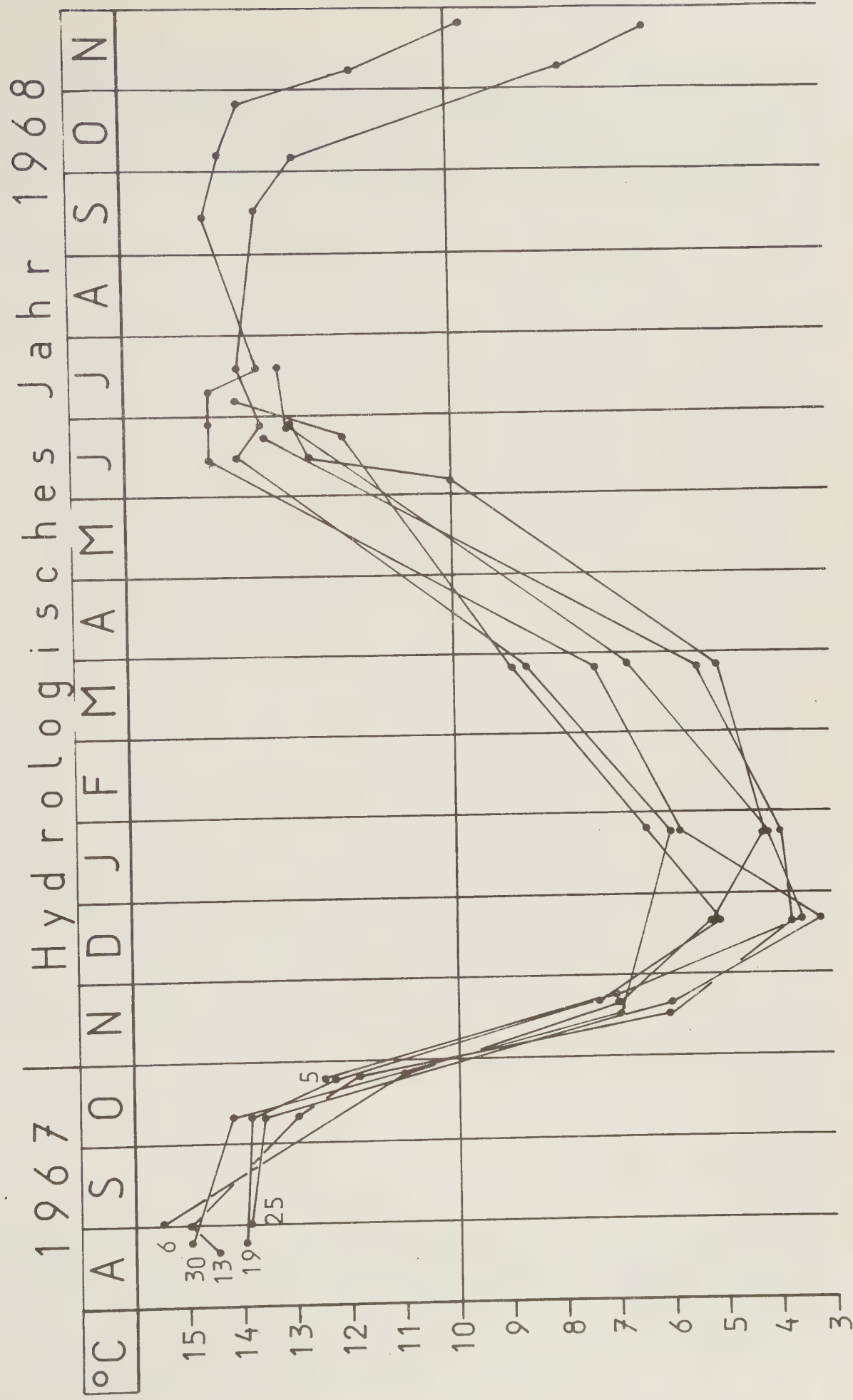


zeitweise von Oberflächenwasser beeinflusste bzw. um sehr oberflächennahe Grundwässer oder um Grundwässer die bis zu ihrem beobachtbaren Austrittsort über eine längere Wegstrecke in Oberflächennähe fließen (z.B. Meßstellen 6, 50).

2. Quellwässer, deren Temperaturen etwa 2 bis 3° C um die mittlere Jahrestemperatur der Luft schwanken (z.B. Meßstellen 13, 14, 15).
3. Grundwässer mit gleichmäßigem Temperaturgang aber mit Temperaturunterschieden untereinander, deren Schwankungen nur wenige Zehntel Grad bis zu höchstens einem Grad betragen. Diese Wässer zeigen keine Beeinflussung durch Oberflächenwasser. Zu ihnen gehören die ergiebigsten Quellwässer an der Asse sowie die Wässer aus den Brunnen.

Innerhalb der dritten Gruppe zeigen die einzelnen Quellen einen Unterschied ihrer mittleren Jahrestemperatur. Mit Temperaturen um 9,5° C kommen die Grundwässer aus der Oberkreide und dem Muschelkalk (z.B. Meßstellen 2, 36, 38, 39) der langjährigen mittleren Jahrestemperatur von ca. 9° C am nächsten. Durch eine besonders gute Konstanz zeichnet sich dabei die Temperatur des gipsreichen Quellwassers der Meßstelle 2 beim Vahlberger Teich aus, die nur wenige Zehntel um eine mittlere Temperatur von 9,3° C schwankt. Ähnlich verhalten sich die Quellwässer der Meßstellen 38 und 39, die bei Kissenbrück aus dem Senon austreten. Die Grundwassertemperaturen im Unteren Buntsandstein der Bohrung H 4 und im Unteren Muschelkalk der Bohrung H 4 betragen in einer Teufe von jeweils 100 m unter Gelände ebenfalls um 9° C. Die jährliche Schwankungsbreite ist hier jedoch nicht bekannt. Nur geringfügig davon unterscheiden sich einige Wässer mit relativ konstanter Temperatur um 10,5° C mit einer ebenfalls nur geringen jährlichen Schwankungsbreite von weniger als 1° C (Meßstellen 18, 20, 21 und 24). Es sind Gipswässer bzw. Natriumchloridwässer, die sich durch erhöhte Mineralisation (2690 mg/l bis 32 390 mg/l Gesamtsalzgehalt) auszeichnen. Bei dem Natriumchloridwasser der Quelle 20 (nordöstlich Groß Denkte) geht die erhöhte Temperatur wahrscheinlich auf eine Zumischung von wärmerem und höher mineralisiertem Grundwasser aus dem Gipshut

Abb.14: VORFLUTERTEMPERATUREN AN DER ASSE



bzw. Gipsmantel¹⁾ des Salzstockes von Groß Denkte zurück. Ähnliches gilt für die Solequelle 24 beim Schwimmbad Groß Denkte (Salzgehalt 32 390 mg/l) deren Temperatur von 10,5 - 11,0° C in Zusammenhang mit dem hohen NaCl-Gehalt auf eine Herkunft aus tieferen Bereichen des Gipshutes deutet.

Warum die Temperaturen der Gipskarstwässer von den Meßstellen 18 und 21 gegenüber denen der Kluftgrundwässer aus Kreide und Muschelkalk erhöht sind bleibt unklar. Die Gipsquelle 2 bei Groß Vahlberg weist demgegenüber eine Temperatur von nur 9,3° C auf. Ein hoher Gipsgehalt ist also nicht in jedem Fall mit höheren Temperaturen verbunden.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Mineralisation und Temperatur besteht jedoch bei einigen Wässern nahe Groß Denkte. Hier weisen die Quellen 16 und 17 (Chlorid-Gehalte von 620 mg/l bis 1350 mg/l) und die Solequelle 63 (78 300 mg Cl/l) Temperaturen zwischen 11,5° C und 12,5° C auf. Ihre Austrittsorte liegen dabei stets an Störungen, welche eine tektonische Verbindung zum Gipshut der Salzlagerstätte herstellen. Wie bei der Quelle 20 ist auch bei den Meßstellen 16 und 17 eine Zumischung von aus größeren Teufen stammenden und daher wärmeren Salzwässern aus dem Gipshut bzw. Gipsmantel wahrscheinlich. Die hydrochemischen Befunde weisen ebenfalls in diese Richtung. Bei der nahe Groß Denkte an einer Störung im Hauptrogenstein mit einer konstanten Temperatur von etwa 11,5° C austretenden Süßwasserquelle 26 ist aufgrund ihres geringen Salzgehaltes (kleiner als 1000 mg/l) ein derartiger Mischungsvorgang nicht denkbar. Eine Erklärung für die hohe Wassertemperatur wäre ein Zustrom von gering mineralisiertem Grundwasser aus größeren Teufen, wobei sich ein in der unmittelbaren Nähe des Salzkörpers u. U. vorhandener überdurchschnittlich hoher Temperaturgradient auswirken könnte.

3.3 Quellschüttungen

Die Schüttungen der Quellen an der Asse liegen nur selten über 2 l/s. Eine Quelle aus dem Gipskarst des Mittleren Muschelkalkes beim Falkenheim / Groß Denkte (Meßstelle 21) besitzt mit maxi-

¹⁾Gipsmantel = derjenige Teil der Zechsteinablaugungsrückstände welcher den Salzflanken aufliegt

mal 5 l/s (durchschnittlich 2 l/s) die höchste gemessene Schüttung im Asse-Höhenzug. Mit mehr als 10 l/s spendet eine Gruppe von Quellen im Senon des südwestlichen Assevorlandes bei Kissenbrück die größten in der näheren Umgebung der Asse bekannten Mengen.

Tab. 5: Quellschüttungen

Meßstelle	Q (l/s)	Meßstelle	Q (l/s)
2	1,16 - 2,3	29	0,1 - 0,66
14	0,04 - 0,15	34	0,0 - 0,44
15	0,25 - 1,0	36	0,6 - 1,14
18	0,25 - 0,5	40 a	0,17 - 2,0
20	0,33 - 2,2	41	0,2 - 2,0
21	1,46 - 5,0	43	0,4 - 3,3
24	ca. 1,0	50	0,03 - 0,3
26	0,31 - 0,83	53	0,25 - 0,5
27	ca. 0,5	63	ca. 1,0

Meist sind die Quellschüttungen jedoch wesentlich geringer; sie haben Werte von 0,1 l/s bis 0,5 l/s und darunter. Nur an bedeutenderen Störungszonen wie bei Groß Denkte und südlich Groß Vahlberg teten auch Quellen mit größeren Schüttungen (um 1 l/s) auf. Hierzu gehören die Meßstellen 2, 3, 16, 17, 20, 24, 36 und 63. Einen Einblick in die Quellschüttungsschwankungen gibt Tab. 5.

4. Hydrogeochemie

4.1 Allgemeines

Im subherzynen Becken drang an verschiedenen Stellen Zechsteinsalz in eine Abfolge mächtiger recht unterschiedlicher Sedimentserien ein. Das Salzgebirge stößt an vielen Salzhebungs-
linien in den Bereich des Grundwassers auf und es war und ist

in Abhängigkeit von den möglichen Einwirkungen des Grundwassers einer unterschiedlich intensiven Ablaugung unterworfen. Durch diese Ablaugung werden die Grundwässer in ihrer chemischen Zusammensetzung vielfach vom Zechsteinsalz geprägt oder zumindest beeinflusst. Auch die Gipsvorkommen im Keuper, Muschelkalk und Röt bedingen mit den Grundwasserchemismus. Über tektonische Brüche dringen vielerorts diese versalzten Grundwässer in die süßwasserführenden Grundwasserleiter ein.

Alle diese beeinflussenden Faktoren erscheinen an der Asse auf verhältnismäßig engem Raum. Die Interpretation der hydrochemischen Zusammenhänge gewinnt eine entscheidende Bedeutung für die Erkennung hydrogeologischer Beziehungen an der Asse. Bei dem engen räumlichen Nebeneinander stark unterschiedlich mineralisierter Wässer kommt man mit einer rein beschreibend typologisierenden Darstellung hydrochemischer Daten nicht mehr aus. Wir müssen vielmehr nach den hydrochemischen Zusammenhängen zwischen der unterschiedlichen chemischen Beschaffenheit der Wässer und dem geologischen Bau an der Asse fragen. Allerdings darf nicht übersehen werden, daß wegen des relativ kleinen Arbeitsgebietes die gewonnenen Aussagen zunächst nur für diesen eng begrenzten Bereich gültig sind.

Die Asse ist als hydrogeologische und hydrogeochemische Provinz eine Anomalie. Um von ihr aus die Beziehungen zu den hydrogeologischen Verhältnissen der Umgebung herzustellen wurden die hydrogeochemischen Untersuchungen, in etwas eingeschränkter Form auch auf die benachbarten Bereiche der Remlinger und Schöppenstedter Kreidemulde sowie auf den Keuper und Muschelkalk des südlichen und östlichen Elms ausgedehnt.

4.2 Die Arbeits- und Darstellungsmethoden

Ausgewertet wurden chemische Vollanalysen von Wässern sämtlicher hydrologischer Aufschlüsse (Quellen, Brunnen, Vorfluter) an der Asse. Sie wurden zum großen Teil von der Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover durch Herrn Dr. FAUTH angefertigt. Von ca. 30 dieser Meßstellen standen aus den Jahren 1966 und

1967 jeweils 5 - 6 Analysen zur Verfügung, sodaß auch eine Beurteilung der jahreszeitlichen Variation möglich war. In diesen Analysen sind folgende Inhaltsstoffe bestimmt:

Natrium, Kalium, Lithium, Kalzium, Magnesium, Strontium, Eisen, Mangan, Zink, Blei, Kupfer; Chlorid, Bromid, Jodid, Sulfat, Hydrogenkarbonat, Nitrat, freie Kohlensäure, Kieselsäure, Borsäure, weiterhin der pH-Wert, die elektrolytische Leitfähigkeit und die Temperatur.

Eine Anzahl eigener Teilanalysen und Chlorid-Bestimmungen aus den Jahren 1968 - 1969 ergänzen das neuere Analysenmaterial. Daneben wurden Analysendaten von Wässern aus der Asse und deren Umgebung aus der Staatlich Chemischen Untersuchungsanstalt in Braunschweig und der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum verwendet.

Im Text sind die Analysen mit einer im Anhang erläuterten Kurzbezeichnung (Zahlen bzw. Buchstaben/Zahlen - Kombination) aufgeführt. Zahlen nach einem Schrägstrich bezeichnen verschiedene Analysen von derselben Meßstelle (z.B. 20/2 = Analyse 2 vom Wasser der Meßstelle 20).

Die Umrechnung des umfangreichen Analysenmaterials in Milliäquivalente (mval/l) und die Einführung weiterer hydrochemischer Parameter wie Ionenquotienten und Ionenteilsummen erfolgte mit elektronischer Datenverarbeitung am Rechenzentrum der Gesellschaft für Strahlenforschung München mbH in Neuherberg. Hierzu wurden mehrere kurze Programme in ALGOL 60 aufgestellt. Auch die Erstellung der Ionenbilanz erfolgte über EDV.

Für die hydrochemische Interpretation wurden die Analysenwerte in Milliäquivalentprozent umgerechnet und in Dreistoffdiagrammen nach Art der OSANN'schen Dreiecke zur Darstellung gebracht.

In Abwandlung eines Vorschlags von PIPER (1944, in: HEM 1959, S. 182 ff.) wurde ein Kationendreieck (Mg^{2+} , Ca^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) und ein Anionendreieck ($\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$, SO_4^{2-} , HCO_3^-) mit einem rautenförmigen Vierstoffdiagramm ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$) kombiniert. Die Zusammenfassung des HCO_3^- und SO_4^{2-} -Gehaltes (üblicherweise $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) erfolgte um CaCl_2 - und Na_2SO_4 -haltige Wässer von CaSO_4 - bzw. NaCl -haltigen Wässern unterscheiden zu können.

Zur Darstellung der absoluten Konzentrationswerte der gelösten Ionen und des Gesamtsalzgehaltes sowie deren Relationen wurden Diagramme nach SCHOELLER (1935, in: HEM 1959, S. 175 f.) verwendet. Logarithmische Skalen für die Gehalte an Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium, Chlorid, Sulfat, Hydrogenkarbonat (alle Konzentrationsangaben in mg/l) und den Gesamtsalzgehalt (in mval/l) wurden in gleichen Abständen voneinander vertikal angeordnet. Am linken Diagrammrand ist eine, ebenfalls logarithmische Skala in mval/l-Einheiten aufgetragen gegen welche die übrigen Skalen (mit Ausnahme der Skala des Gesamtsalzgehaltes) derart vertikal verschoben sind, daß sich die jeweils einem Millival entsprechenden Milligramm-Werte mit der Zahl 1,0 der linken Skala auf einer horizontalen Linie befinden. Die Darstellung kann so als Nomogramm zur Umrechnung der Analysenwerte von mg/l in mval/l dienen. Eine einzelne Analyse wird durch Eintragung ihrer Ionenkonzentrationen auf die einzelnen Skalen und Verbindung der so erhaltenen Skalenpunkte dargestellt. Das Milliäquivalentverhältnis der nebeneinander aufgetragenen Lösungskomponenten wird durch die Steigung ihrer Verbindungslinie ausgedrückt. Im linken Teil der Diagramme ist ein Neigungsmaßstab für die Milliäquivalentverhältnisse eingezeichnet.

In einer hydrochemischen Karte wurden ähnlich wie bei LANGGUTH (1966) die Analysenwerte in Form von Milliäquivalenz-Kreisen (nach UDLUFT) in mval % dargestellt. Die Kationen- und Anionenanteile wurden dabei in der oberen bzw. unteren Kreishälfte als Kreissektoren eingetragen. 180 Grad entsprechen dabei 100 mval % Kationen bzw. Anionen. Um eine bessere Lesbarkeit und nicht allzugroße Kreisdurchmesser zu erhalten wurden die Analysen nach ihren Gesamtkonzentrationen in drei Gruppen eingeteilt: bis 20 mval/l, 20 - 50 mval/l und über 50 mval/l. Innerhalb dieser Gruppen, welche sich durch verschiedene Strichstärken des Kreisrandes unterscheiden, ist die unterschiedliche Gesamtmineralisation durch proportional wachsende Kreisdurchmesser ausgedrückt.

4.3 Der Lösungsinhalt der Grundwässer

Der Grundwasserchemismus wird in entscheidender Weise von der chemischen Zusammensetzung der Speichergesteine bestimmt (geogene Prägung). Handelt es sich um unverfälschte Grundwässer, die nicht durch Mischung mit Oberflächenwasser oder anderen Grundwässern in ihrem Chemismus beeinflusst sind, so lassen sich, wenn man einige zusätzliche, nicht geogene Einflußfaktoren eliminieren kann, durch die Analyse der im Wasser gelösten Bestandteile chemische Beziehungen zwischen dem Wasser und seinem Herkunftsgestein feststellen.

Die vom Speichergestein unabhängigen Faktoren, welche darüberhinaus noch auf das Grundwasser einwirken können, wurden in der Literatur mehrfach eingehend behandelt (NÖRING 1950, BECKSMANN 1956, SCHWILLE 1956, MATTHESS 1961 u. a.), sodaß hier nur kurz darauf eingegangen werden muß.

Folgende Faktoren können, abgesehen vom Einfluß des Speichergesteins, noch auf die chemische Beschaffenheit der Grundwässer einwirken:

1. Zeitlich und räumlich wechselnde chemische Zusammensetzung der Niederschläge (Salzspray, industrielle Abgase). Diese meteorogenen Faktoren können unter Umständen, besonders bei schwach mineralisierten Wässern, die Konzentration einzelner Inhaltsstoffe und somit den Grundwasserchemismus mitbestimmen (z.B. zyklische Salze, SO_2 aus industriellen Abgasen).
MATTHESS (1961, S. 20 ff.) gibt SO_4^{--} -Konzentrationen in Niederschlagswasser aus dem Ruhrgebiet von bis zu 266 mg $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ an.
2. Bodenart, Bodentyp und Bodenbewuchs (Pflanzenassoziationen, Nutzungsart usw.).
Der belebte und durchlüftete Boden wirkt für den versickernden Niederschlag als Filter und als Umwandlungszone, die den Chemismus des Sickerwassers beeinflusst und somit auch auf die chemische Beschaffenheit des Grundwassers einwirkt (ZAKOSEK 1956). In starkem Maße geht dieser Einfluß vom CO_2 - und NO_3 -Gehalt im Boden aus (BECKSMANN 1956, RÖHRER 1933, NÖRING 1950). Der CO_2 -Gehalt des

Grundwassers der praktisch ausschließlich dem Boden und nur untergeordnet der Atmosphäre entstammt bestimmt den HCO_3^- -Gehalt des Grundwassers.

3. Düngung, Abwässer und ähnliche anthropogene Faktoren.

In landwirtschaftlich genutzten Gebieten beeinflusst die Kunstdüngung stark den Mineralhaushalt des Bodens, so daß hier über den versickernden Niederschlagsanteil bestimmte Ionen (vor allem K^+ und NO_3^-) in verstärktem Maße ins Grundwasser gelangen können.

Anthropogene Faktoren können in ihrem zeitlich veränderlichen Ausmaß die übrigen Beeinflussungsmöglichkeiten weit übertreffen; sie sind daher besonders sorgfältig in Rechnung zu stellen. Im Zweifelsfall wird meist eine Reihe von zu verschiedenen Jahreszeiten entnommener Proben Klarheit darüber schaffen ob und in welchem Umfang anthropogene Einflüsse vorliegen.

Verschiedene der angeführten Faktoren können zusammenwirken und damit eine geogene Typologie erschweren. In weit stärkerem Maße gilt dies aber für die gegenseitige Beeinflussung zweier Grundwässer im Sinne einer Mischung, die zu einem geogen geprägten Mischwasser führt.

Gerade diese vielfältige gegenseitige Beeinflussung der Grundwässer ist bei den hydrogeologischen Verhältnissen wie sie an der Asse vorliegen überall möglich. Letztlich ist es eine Absicht dieser Arbeit derartige Mischwässer zu erkennen und ihrer Entstehung nachzugehen.

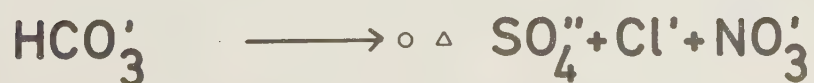
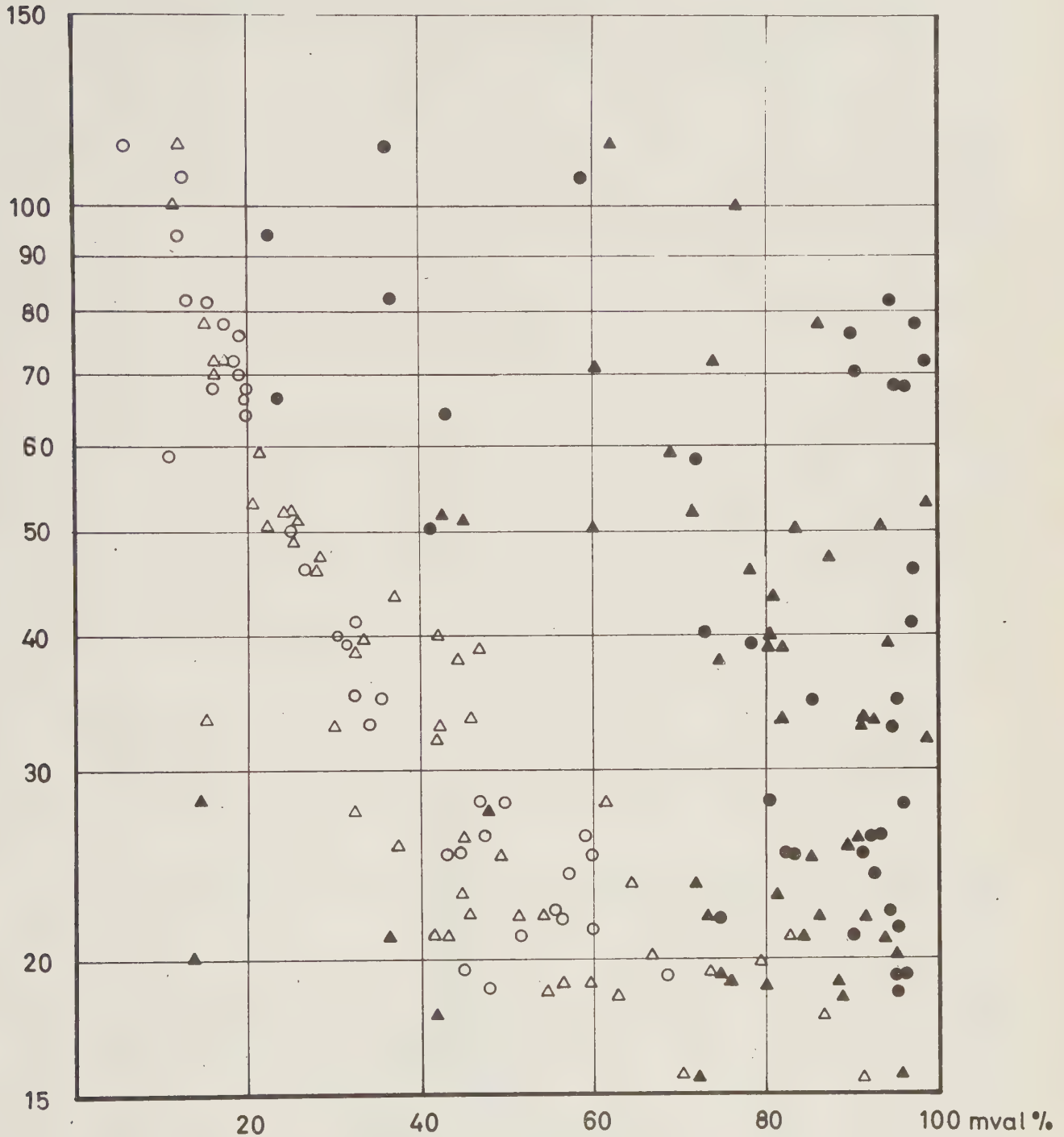
Ein weiterer wesentlicher geogener Einfluß geht von ionenaustauschenden Vorgängen aus (SCHWILLE 1956). Da sie vor allem in Gebieten mit einem Nebeneinander von hoch mineralisiertem und süßem Grundwasser wie an der Asse unbedingt zu berücksichtigen sind, wird in Abschnitt III. 4.4.3 auf die Wechselwirkung zwischen Speichergestein und den im Grundwasser gelösten Ionen etwas näher eingegangen.

4.3.1 Der Gesamtsalzgehalt

Die Menge der gelösten Stoffe schwankt bei den Asse-Wässern in

Abb. 15: Gesamtsalzgehalt (Σ -Äqu.) und chemische Zusammensetzung der Grundwässer an der Asse und ihrer Umgebung

Σ -Äqu.
(mval/l)



ASSE $\bullet \circ$ UMGEBUNG $\triangle \triangle$

weiten Grenzen zwischen ca. 20 mval/l und mehr als 1000 mval/l. Etwa zwei Drittel der Grundwässer sind mit einem Gesamtlösungsinhalt von mehr als 1000 mg/l bereits als Mineralwässer zu bezeichnen. Die Häufigkeitsverteilung der an der Asse und ihrer unmittelbaren Umgebung vorkommenden Gesamtsalzgehalte zeigt Abb. 16. In Vergleichsproben von Grundwässern aus dem Elm ist der Mineralisationsbereich zwischen 15 mval/l und 25 mval/l stärker bevorzugt. Höhere Salzgehalte sind hier allein durch hohe SO_4^{2-} -Konzentrationen bedingt, an der Asse daneben auch durch erhöhte Chloridgehalte (Abb. 18).

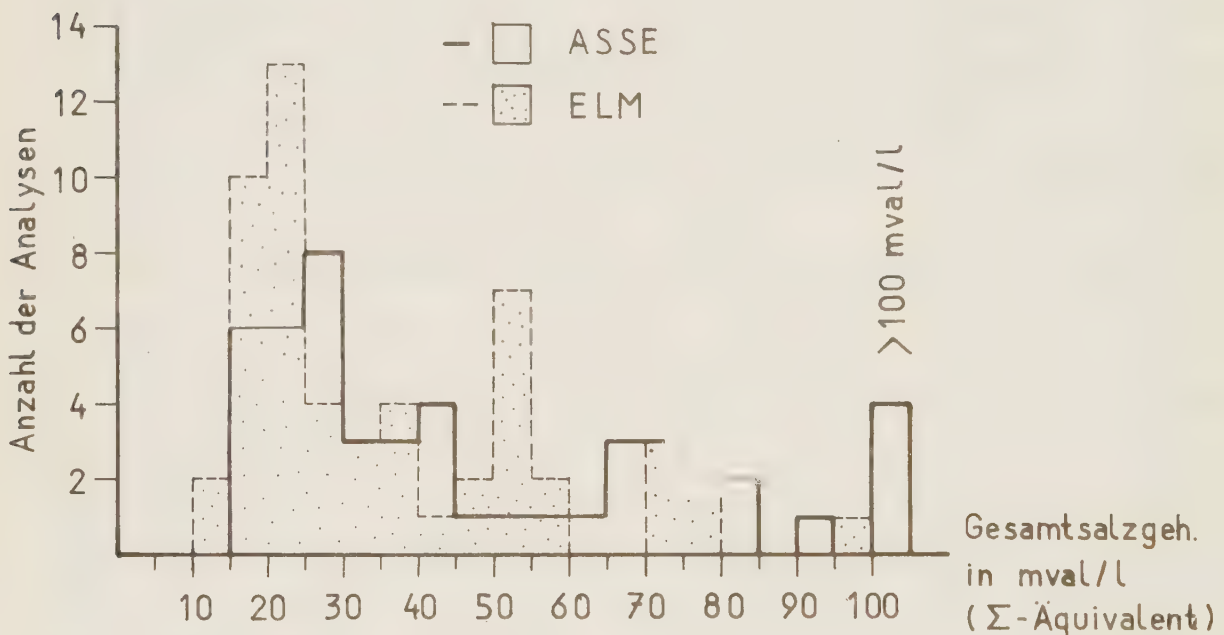


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Gesamtsalzgehalte der Grundwässer an Asse und Elm

4.3.2 Hydrogenkarbonat und Kohlendioxid

Die Löslichkeit des Kalziumkarbonats hängt entsprechend der Gleichung $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2(\text{HCO}_3^-)$ vom Gehalt an gelöstem Kohlendioxid ab. Halten sich die nach links und rechts verlaufenden Reaktionen die Waage, so ist das Wasser im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht; es wird weder Kalk gelöst noch abgeschieden. Einer bestimmten HCO_3^- -Konzentration ist dann eine bestimmte Menge CO_2 zugehörig (= freie zugehörige Kohlensäure). Bei steigender Temperatur bzw. fallendem Druck verläuft die Reaktion nach links (Kesselsteinabscheidung, Kalktuffbildung), bei fallender Temperatur und steigendem

Druck umgekehrt (Kalklösung). Bezogen auf die, sowohl an Kalzium als auch an Magnesium gebundene gesamte HCO_3^- -Menge zeigen die an der Asse untersuchten Grundwässer fast stets ein Defizit an freier Kohlensäure. Zum Teil mag dies auch auf ungünstige Probenahmebedingungen zurückzuführen sein. Nach KLINE (1929, in: HEM 1959, S. 81) ist in Wasser mit einem CO_2 -Partialdruck von 0,0003 atm 190 mg Mg^{++}/l als $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ löslich. Das bedeutet, daß der, dem gelösten $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ zugehörige CO_2 -Gehalt bis zu dieser Konzentration praktisch vernachlässigt werden kann. Durch Abzug des Mg-Anteils vom HCO_3^- -Gehalt läßt sich in den Assewässern, soweit die Bestimmung der freien Kohlensäure fehlerfrei ist, das scheinbare Kohlensäuredefizit reduzieren. Mit Ausnahme einiger Solwässer stehen die Grundwässer der Asse im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung der HCO_3^- -Gehalte der Asse-Grundwässer, so läßt sich eine enge Scharung innerhalb des Konzentrationsbereiches von 5 - 7 mval/l (ca. 300 - 420 mg/l) feststellen (Abb. 17). Auch die im südlichen und östlichen Elm untersuchten Keuper- und Muschelkalkwässer liegen im gleichen Konzentrationsbereich.

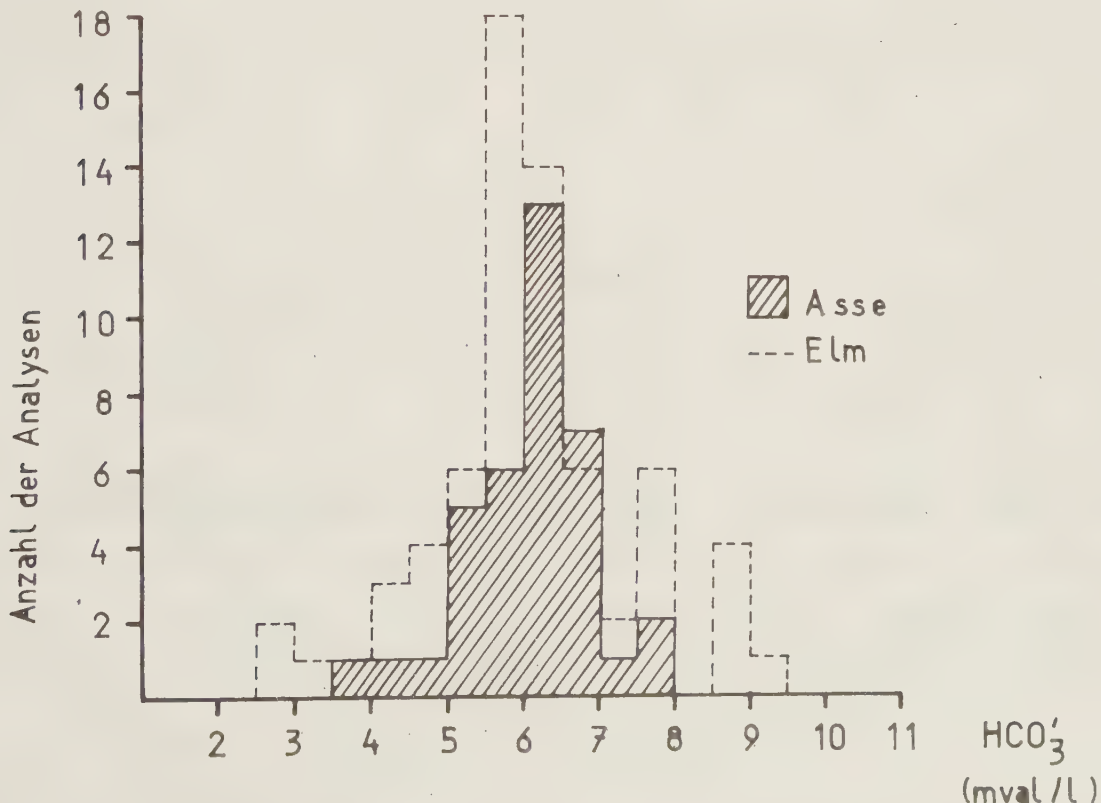


Abb. 17:

Häufigkeitsverteilung der Hydrogenkarbonatgehalte der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm

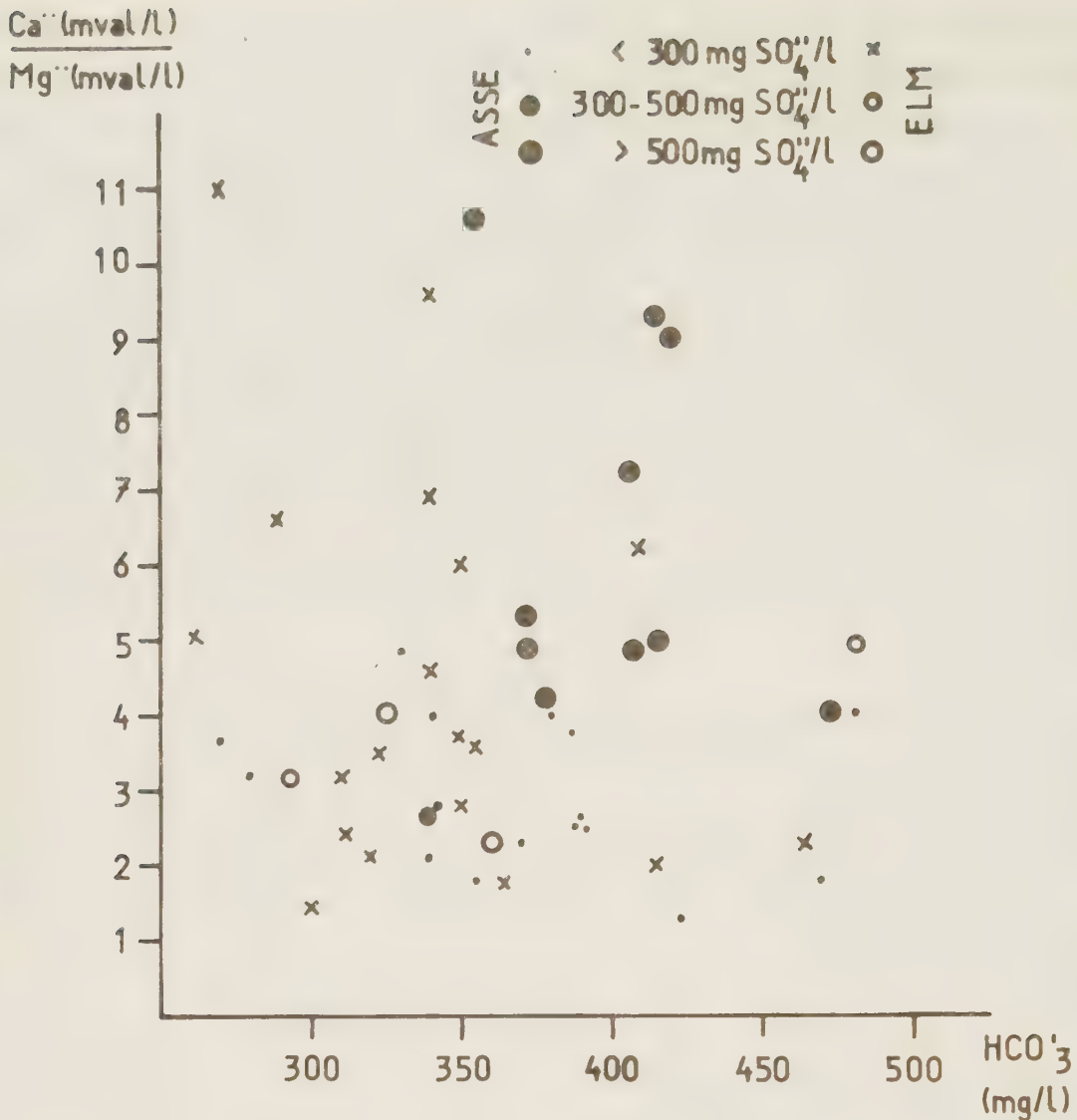


Abb. 18: Beziehung zwischen dem Milliäquivalentverhältnis $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ und dem HCO_3^- -Gehalt von Grundwässern unterschiedlichen SO_4^{--} -Gehaltes aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm

Wie die Abb. 18 zeigt ist die einheitliche Hydrogenkarbonatkonzentration unabhängig vom Gesamtsalzgehalt und von der Art der Mineralisation. Diese Tatsache gilt gleichermaßen für reine $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -Wässer wie auch für Gipswässer, Salzwässer und Solen. Eine Abhängigkeit des HCO_3^- -Gehaltes von der Bodenbedeckung läßt sich nicht nachweisen, da nur wenige Vergleichswerte aus den landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten

zur Verfügung standen. Bei den Drainagewässern ergibt sich meist eine deutliche jahreszeitliche Schwankung des HCO_3^- -Gehaltes. Auch einige Gipskarstwässer enthalten stärker wechselnde Mengen an HCO_3^- (siehe III. 4.6).

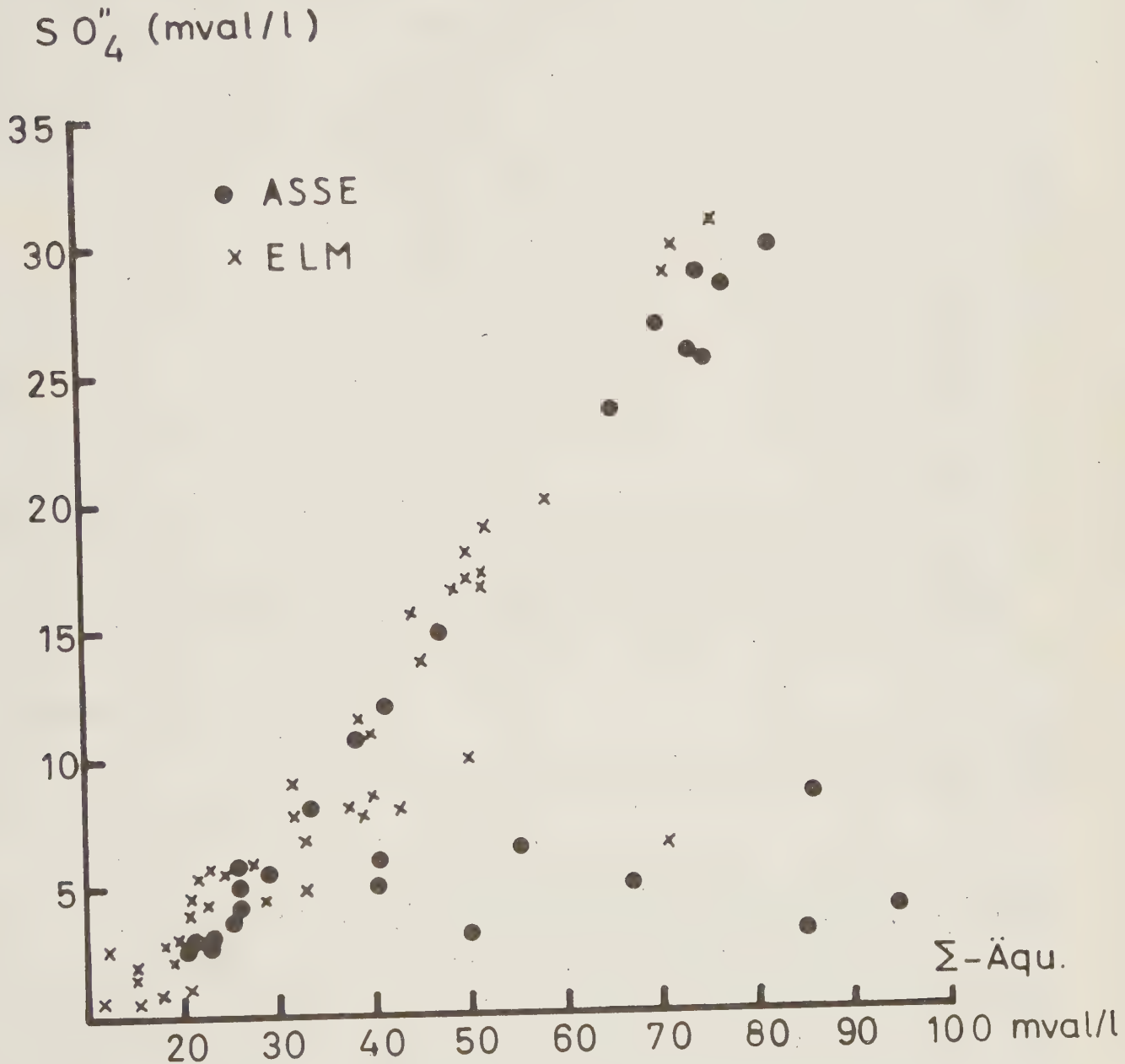


Abb. 19: Zusammenhang zwischen Sulfatgehalt in mval/l und dem Gesamtsalzgehalt in mval/l (Σ -Äquivalent) der Grundwässer aus Asse und Elm

4.3.3 Sulfat ¹⁾

Im Arbeitsgebiet wird der Sulfatgehalt der Grundwässer weitgehend vom Gipsgehalt des Speichergesteins bestimmt. Die Steilstellung der Schichten und ihre bruchtektonische Beanspruchung ermöglichen es den autochthonen Gipswässern den Chemismus benachbarter Grundwässer zu beeinflussen.

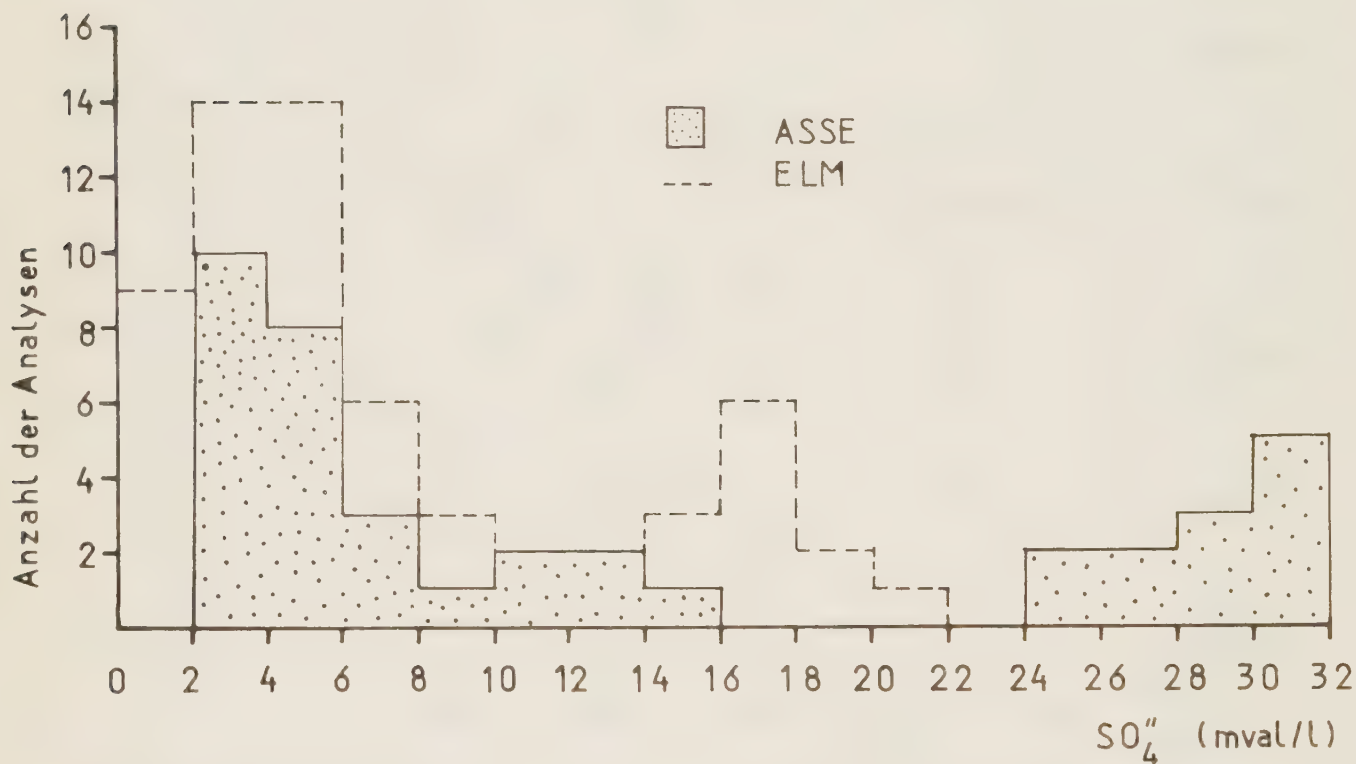


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der Sulfatgehalte der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm

Aus den Abb. 19 und 20 läßt sich entnehmen, daß an der Asse und in deren Umgebung selbst niedrig mineralisierte Hydrogenkarbonatwässer SO₄²⁻-Gehalte zwischen 2 und 6 mval/l aufweisen. Abb. 20 zeigt wie verschieden die Sulfatkonzentrationen der einzelnen Grundwässer sind. Eine ganze Reihe von Werten liegt im Bereich der Sättigungskonzentration reiner Gipswässer also im Bereich um 1400 mg SO₄²⁻/l (ca. 29 mval/l).

¹⁾ Über die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser gibt MATTHESS (1961) eine umfassende Darstellung

Die Solwässer enthalten darüberhinaus, bedingt durch den NaCl-Gehalt der die Löslichkeit von SO_4^{2-} erhöht, zwischen 57,1 mval/l (= 2746 mg/l) und 75,7 mval/l (= 3540 mg/l) an Kalzium "gebundenes" Sulfat. Wenn man die löslichkeitserniedrigende Wirkung von CaCl_2 berücksichtigt (Tab. 6) liegen die hohen Sulfatwerte ebenfalls nahe der Absättigung.

Tab. 6: Löslichkeit des Kalziumsulfats in Abhängigkeit von Temperatur und NaCl-Gehalt (aus MATTHESS 1961, nach D'ANS u. LAX 1949 und LANDOLT-BÖRNSTEIN 1923).

	0° C	10° C	20° C	30° C	
CaSO ₄ (g/l)	1,76	1,925	2,03	2,1	
SO ₄ ²⁻ (g/l)	1,24	1,35	1,43	1,48	
SO ₄ ²⁻ (mval/l)	25,8	28,2	29,8	30,8	
System CaSO ₄ - NaCl - H ₂ O bei 20° C					
NaCl (g/l)	172	200	244	292,8	358,5
CaSO ₄ (g/l)	7,87	8,23	8,2	6,14	7,09
SO ₄ ²⁻ (g/l)	5,55	5,8	5,78	3,55	4,9
SO ₄ ²⁻ (mval/l)	115,5	121	120	73,9	102

4.3.4 Chlorid

Der Chloridgehalt des Grundwassers wird, ebenso wie der Sulfatgehalt, durch die chemischen Eigenschaften der Gesteine geprägt. Anthropogene und meteorogene Einflüsse können an der Asse im allgemeinen vernachlässigt werden. Durch die nahezu geschlossene Bewaldung des Asse-Höhenzuges entfällt vor allem der Einfluß der Düngung. Die Chlorid-Konzentrationen in den Grundwässern der Asse und in der unmittelbaren Umgebung (Remlinger Mulde, Ösel) sind durchweg größer als 25 mg/l (Abb. 21), meist zwischen 25 und 50 mg/l; sie steigen jedoch auch häufig bis

150 mg/l an. Wasser mit mehr als 150 mg/l bis zu Konzentrationen größer als 25 % NaCl sind vor allem im Bereich um Groß Denkte ebenfalls häufig. Im Vergleich dazu weisen die Analysen von Wässern aus dem Keuper und Muschelkalk des Elms geringere Chlorid-Konzentrationen auf. Sie liegen wie Abb. 21 zeigt sehr häufig unter 30 mg/l. Etwas erhöhte Chlorid-Gehalte können hier z. T. durch anthropogene Einflüsse bedingt sein oder sind in Verbindung mit erhöhten Gipsgehalten durch Auslaugung geringer Salzreste zu erklären.

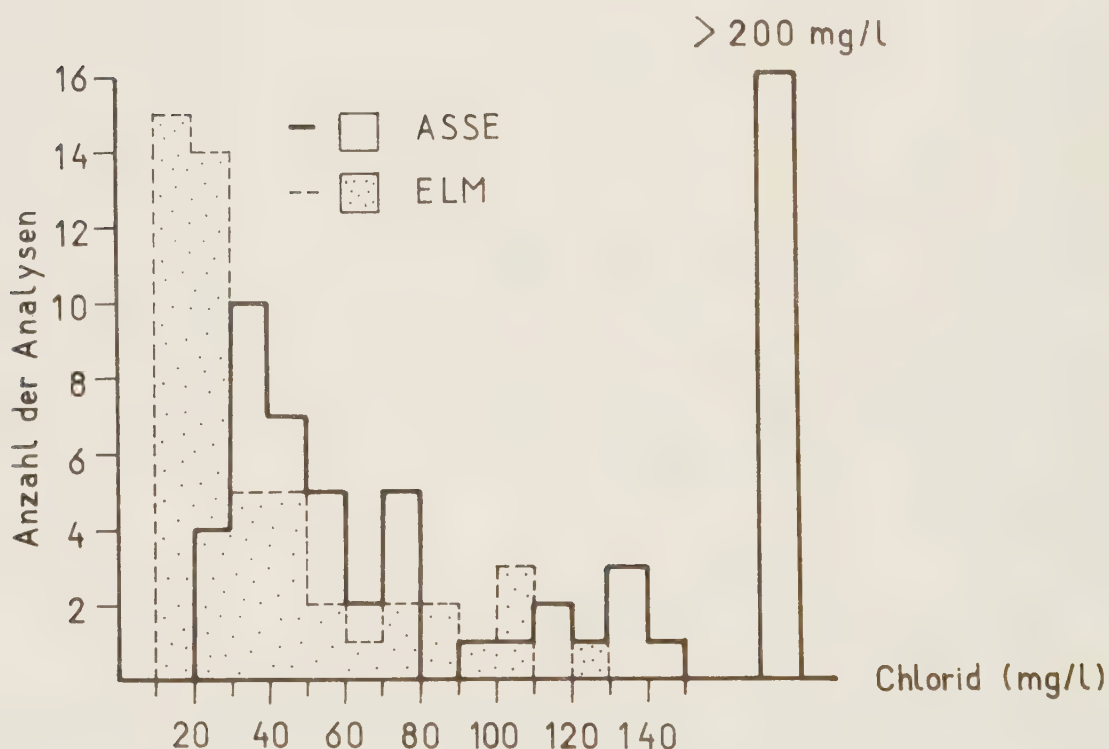


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung des Chlorid-Gehaltes der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm.

4.3.5 Nitrat

Im Gegensatz zu den meisten übrigen im Grundwasser vorhandenen Anionen stammen im Arbeitsgebiet die Nitrate nicht aus dem Grundwasserleiter selbst. Auch die Nitratgehalte des Niederschlagswassers dürften den Nitratgehalt des Grundwassers nicht beeinflussen. Als Quelle für die Nitratgehalte kommt außer der Verunreinigung durch Düngung (durch Abwässer verunreinigte Grundwässer wurden von vorneherein ausgeschlossen) nur der Bereich des belebten Bodens in Frage.

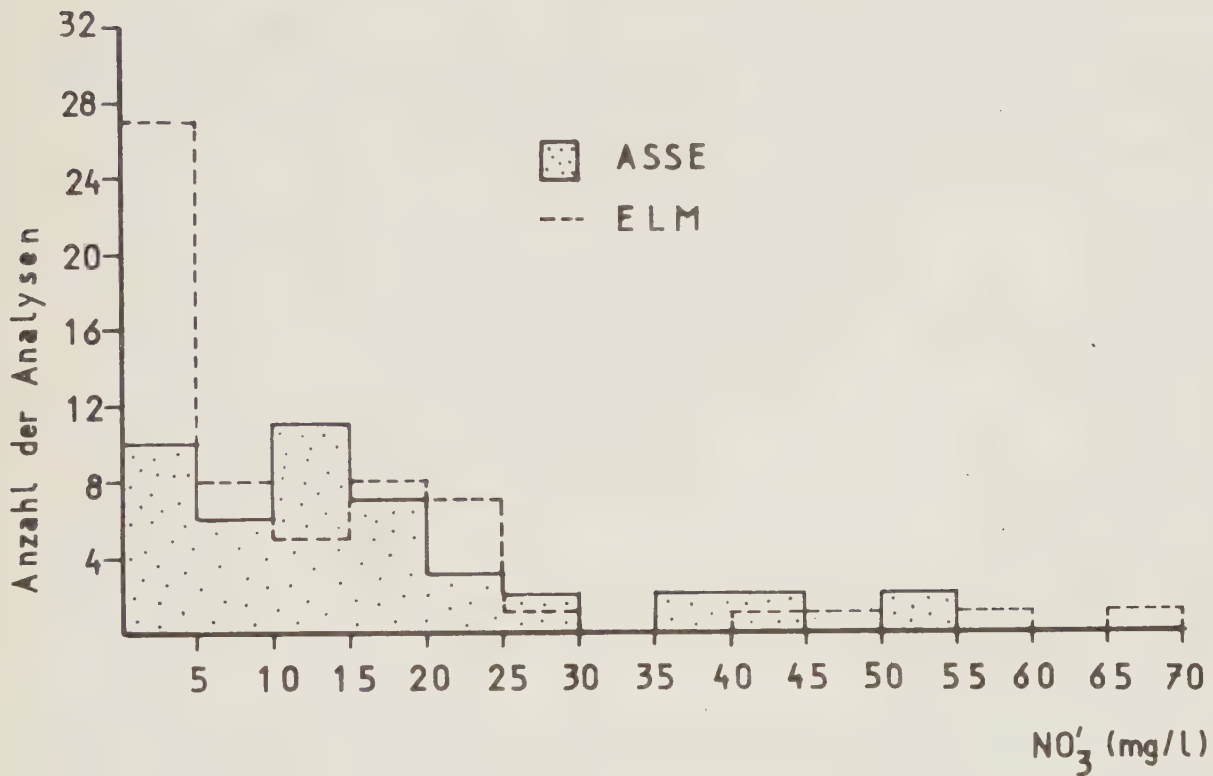


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Nitrat-Gehalte der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm

Durch den jahreszeitlich bedingten Lebensrhythmus der höheren Pflanzen und Mikroorganismen, durch Klimafaktoren (Niederschlagsmenge, Verdunstung) und wechselnde Zufuhr von stickstoffhaltigen Düngemitteln unterliegt der NO₃⁻-Gehalt des Grundwassers komplizierten zeitlichen Veränderungen (RÖHRER 1933, SCHWILLE 1953, 1962). Auch aus bewaldeten Einzugsge-

bieten können größere Mengen von Nitrat ins Grundwasser gelangen (nach RÖHRER 1933 bis 80 mg $\text{N}_2\text{O}_5/\text{l}$). Bei den Wässern aus der Asse liegen die NO_3^- -Gehalte jedoch meist unter 20 mg/l, bei den Muschelkalkwässern des Elms vielfach unter 5 mg/l. Höhere Gehalte (Meßstellen 4, 38, 39, 43) sind fast stets auf Düngung zurückzuführen. In der Gemarkung Wendessen treten in alluvialen Kiesen und Sanden der Altenau Nitrat-Konzentrationen bis 360 mg/l auf (Brunnen We 1, We 7), die wohl auf Verunreinigungen durch Abwässer zurückzuführen sind.

4.3.6 Kalzium, Magnesium und Strontium

Die Kalziumgehalte streuen in den Grundwässern der Asse zwischen 133 und 651 mg/l und zwar in den hohen Konzentrationen in Abhängigkeit vom Sulfat-Gehalt.

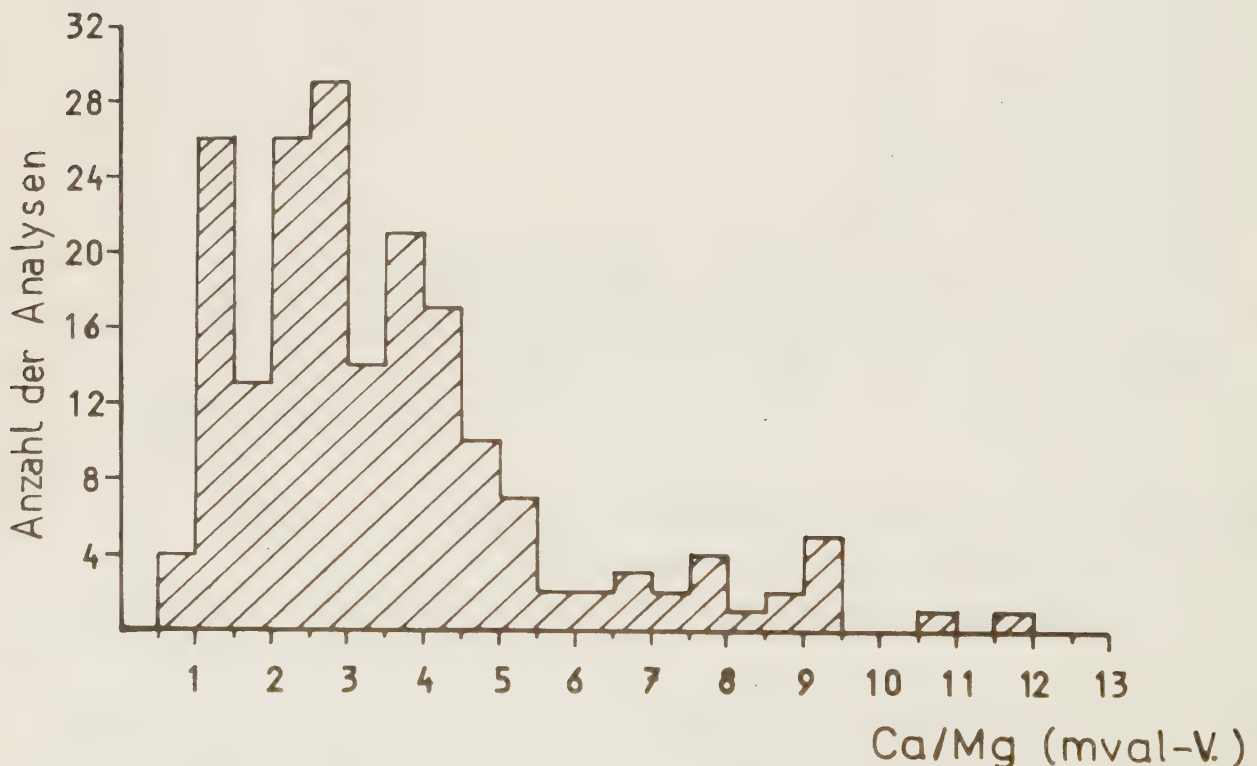


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung des Äquivalentverhältnisses von $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ an der Asse (Analysenserien 1 - 7)

Sieht man von den Solwässern ab, die zwischen 572 und 1760 mg/l Magnesium enthalten, so variieren die Magnesiumwerte in engeren Grenzen zwischen 19,5 und 75 mg/l meist zwischen 20 und 50 mg/l. Das Milliäquivalent-Verhältnis von $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ hat ein Maximum zwischen 1 und 4,5 (Abb. 23). Werte größer als 4,5 bis maximal 11 sind bei den Gipswässern der Asse die Regel. Die sulfatreichen Solwässer sind wegen ihres MgCl_2 -Gehaltes durch niedrige $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Quotienten gekennzeichnet (kleiner 1,5). Auffallend sind bei reinen HCO_3^- -Wässern die niedrigen Verhältniszahlen, die

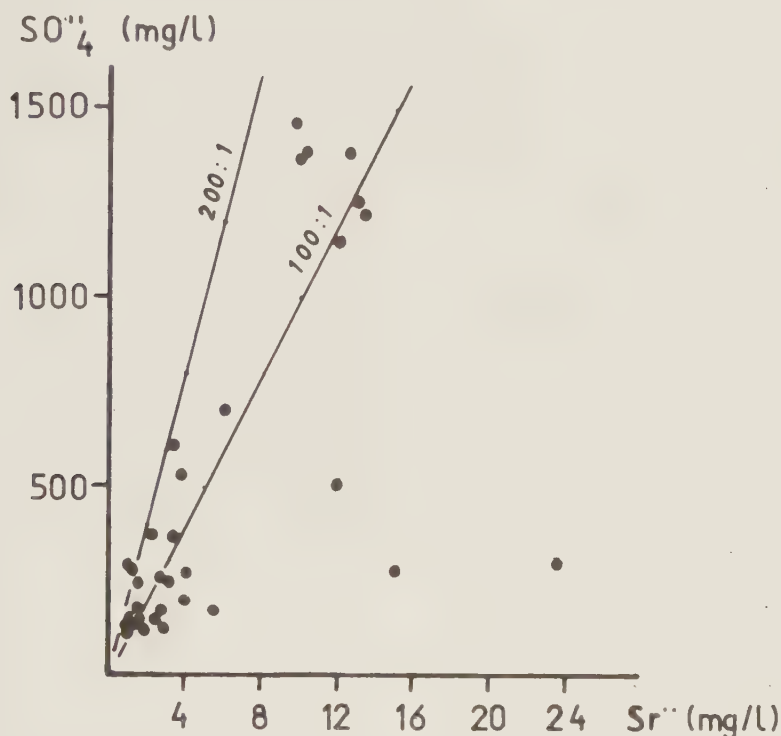


Abb. 24: Zusammenhang zwischen Sulfatgehalt und Strontiumkonzentration in den Grundwässern aus der Asse

wohl auf einen höheren Dolomitgehalt der Sedimente deuten. Hydrogenkarbonat-Wässer aus dem Muschelkalk des Elms zeigen demgegenüber häufiger ein $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnis zwischen 5 und 10. Die Strontium-Konzentrationen in den Grundwässern bewegen sich zwischen 0,6 und 28,6 mg/l meist jedoch unter 5 mg/l. Höhere Werte sind, mit zwei Ausnahmen (Meßstellen 15 und 20), an hohe Sulfat-Gehalte gebunden. Reine Gipswässer enthalten stets relativ viel Strontium (10 - 14 mg/l).

Das Strontium stammt in diesen Fällen aus abgelaugten Gipsen (MÜLLER, German 1962; MÜLLER, Gerh. 1964), die Sr^{++} -Ionen im Kristallgitter eingebaut enthalten. Die extremen Werte in den Grundwässern der Meßstellen 15 und 20 (über 20 mg Sr^{++} /l bei durchschnittlich 300 mg/l Sulfat) lassen sich möglicherweise mit dem Auftreten von Strontiummineralen in den entsprechenden Grundwasserleitern erklären.

4.3.7 Natrium und Kalium

Natriumgehalte zwischen 10 und 25 mg/l überwiegen. Höhere Natriumwerte sind mit einer gleichzeitigen Chloriderhöhung verbunden (Ausnahmen: Austauschwässer, siehe III. 4.5.3). Die Häufigkeitsverteilung der Natriumkonzentrationen gleicht derjenigen der Chloridgehalte.

Anders verhält sich das Kalium, welches in den an der Asse untersuchten Wässern durchschnittlich in einer Konzentration von weniger als 7 mg/l vorliegt. Sieht man von den Solen ab, so haben selbst Wässer mit hohen Chloridgehalten nur unerheblich mehr als 7 mg K^+ /l gelöst (maximal 15 mg/l).

Das Milliäquivalent-Verhältnis von Na^+/K^+ schwankt normalerweise zwischen 2 und 15.

4.3.8 Kieselsäure und Borsäure

Nach HEM (1959, S 53 ff.) ist das Silizium in den meisten Wässern in subkolloidaler Verteilung als monomere oder dimere Kieselsäure vorhanden. Die Grundwässer der Asse führen im Durchschnitt mehr als 10 mg SiO_2 /l, maximal 27 mg/l.

Buntsandsteinwässer und Kreidewässer zeichnen sich durch die höchsten Konzentrationen aus. Erstere haben zwischen 15 und 20 mg SiO_2 /l, letztere 20 bis 27 mg/l.

Borsäure ist unter einem pH-Wert von 7 undissoziiert. Bei einem pH-Wert von 8 sind etwa 5 % des Bors als H_2BO_3^- -Ionen gelöst, bei pH 9 etwa 40 % (HEM 1959, S 121). Die Gehalte

in den Grundwässern an der Asse liegen mit Ausnahme der Solquellen stets unter 0,5 mg HBO_2 /l.

4.3.9 Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Blei

Der Konzentrationsbereich des in den Asse-Grundwässern enthaltenen Eisens (bestimmt als Fe^{++}) reicht von 0,03 mg/l bis 2,45 mg/l. Wasser aus dem Alluvium der Altenau bei Wendessen (We 8, We 9, We 10) können bis zu 12 mg Fe^{++} /l enthalten. Die Eisengehalte schwanken innerhalb ein und desselben Wassers

Tab. 7: Eisen- und Mangangehalte der Grundwässer aus der Asse

Meßst. Nr.	Fe^{++} (mg/l)	Mn^{++} (mg/l)
1	0,05 - 2,43	< 0,03 - 0,38
2	< 0,03 - 0,20	< 0,03 - 0,05
3	< 0,03 - 0,21	< 0,03 - 0,22
6	0,30 - 1,70	< 0,03 - 0,10
9	0,10 - 0,53	< 0,03 - 0,18
10	0,07 - 0,30	< 0,03 - 0,20
12	< 0,03 - 0,90	< 0,03 - 0,24
14	< 0,03 - 2,45	< 0,03 - 0,19
15	< 0,03 - 0,30	< 0,03 - 0,05
16	< 0,03 - 0,50	< 0,03 - 0,15
17 ₁	< 0,05 - 0,30	< 0,03 - 0,05
18	0,06 - 0,67	< 0,03 - 0,20
20	< 0,03 - 0,25	< 0,03 - 0,26
21	< 0,03 - 0,20	< 0,03 - 0,26
23	< 0,03 - 0,31	< 0,03 - 0,20
24	0,31 - 0,45	< 0,06 - 0,25
26	0,04 - 0,31	< 0,03 - 0,22
27	0,14 - 0,77	< 0,03 - 0,17

meist stärker (siehe Tab. 7). Da der Eisen-Gehalt der Wässer z.T. in bedeutendem Maße durch Aufnahme von Eisen aus Pumpleitungen,

Quellfassungsrohren etc. beeinflußt sein kann wird er hier nicht weiter zur geochemischen Interpretation herangezogen.

Mangan ist in den Grundwässern mit weniger als 0,03 mg/l bis 0,38 mg/l enthalten.

Nach den Analysen der Bundesanstalt für Bodenforschung haben die Grundwässer aus der Asse Kupfer- und Blei-Gehalte von weniger als 0,004 mg/l bis 0,1 mg/l bzw. weniger als 0,004 mg/l bis 0,054 mg/l. Die Zinkkonzentrationen bewegen sich meist zwischen 0,004 mg/l und maximal 0,1 mg/l. Nur wenige Proben weisen Gehalte bis zu 0,4 mg/l auf. Diese erhöhten Zinkgehalte können durch Lösung von Zink aus metallischen Leitungsrohren etc. erklärt werden. Einen Ausnahmefall stellt eine Quelle mit geringer Schüttung (Meßstelle 14) dar, die zwischen 0,7 mg/l und 2,0 mg/l Zink enthält. Eine Erklärung für diese extrem hohen Gehalte konnte nicht gefunden werden.

4.3.10 Lithium, Brom, Jod

Lithium ist in geringen Konzentrationen in allen Wässern aus der Asse enthalten (0,011 mg/l - 0,208 mg/l). Die Gipswässer und die Solquelle beim Schwimmbad Groß Denkte (Meßstelle 24) haben leicht erhöhte Lithium-Gehalte um 0,1 mg/l bis maximal 0,208 mg/l (Meßstelle 24).

Beim Brom (als Bromid in Lösung) zeigt sich ein deutliches Ansteigen der Konzentration mit wachsendem Chlorid-Gehalt. Während chloridarme Wässer bis 0,70 mg Br⁻/l enthalten, weisen NaCl-Wässer bis zu 3,7 mg Br⁻/l, Solwässer gar bis zu 84 mg Br⁻/l auf.

Jod (als Jodid angegeben) ist nur in geringen Spuren meist unter 0,1 mg J⁻/l und weniger (selten bis 0,45 mg/l) vorhanden. Selbst hochkonzentrierte Solen enthalten nur 0,1 mg/l und weniger. Ein einzelner Wert von der Solquelle 24 fällt mit 2,3 mg J⁻/l aus dem normalen Konzentrationsbereich.

Tab. 8: Lithium-, Brom- und Jod-Gehalte der Grundwässer
an der Asse

Meßst. Nr.	Li ⁺ (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)	J ⁻ (mg/l)
1	0,034 - 0,050	0,80 - 4,00	0,1 - 0,3
2	0,040 - 0,050	0,10 - 0,35	0,1
3	0,029 - 0,040	0,10 - 0,35	0,1
6	0,017 - 0,040	0,20 - 0,40	0,1
9	0,050 - 0,060	0,10 - 0,20	0,1 - 0,2
10	0,032 - 0,050	0,10 - 0,20	0,1 - 0,45
12	0,037 - 0,050	1,00 - 1,45	0,1
14	0,090 - 0,108	0,15 - 0,80	0,1
15	0,028 - 0,050	0,15 - 0,30	0,1
16	0,052 - 0,077	3,10 - 3,70	0,1 - 0,15
17 ₁	0,045 - 0,060	0,45 - 0,60	0,1
17 ₂	0,046 - 0,065	0,75 - 0,95	0,1
18	0,085 - 0,120	0,15 - 0,40	0,1
20	0,040 - 0,086	0,20 - 0,45	0,1 - 0,15
21	0,098 - 0,120	0,05 - 0,20	0,1
23	0,020 - 0,024	0,10 - 0,30	0,1 - 0,2
24	0,090 - 0,208	16,20 - 25,70	0,1 - 2,3
26	0,059 - 0,070	0,20 - 0,70	0,1
27	0,049 - 0,060	1,10 - 1,45	0,1
29	0,011 - 0,023	0,10 - 0,15	0,1
32	0,086 - 0,120	0,10 - 0,20	0,1
34	0,100	0,7	0,1
36	0,030	0,2	0,1
38	0,020	0,1	0,1
50	0,020	0,2	0,1
52	n.b.	84	0,1
60	0,025	1,8	0,1
63	n.b.	63,2	0,1

4.3.11 Der pH-Wert

Der pH-Wert der Asse-Grundwässer bewegt sich meist um den Neutralpunkt, teilweise mit einer leichten Neigung zum basischen Bereich (6,7 - 7,6). Die Solwässer sind mit 6,3 - 6,8 leicht sauer, was zum Teil auf etwas erhöhte CO_2 -Gehalte (bis 100 mg CO_2/l) zurückzuführen ist.

4.4 Die chemischen Grundwassertypen und ihre Beziehung zum Speichergestein

Der Versuch die Grundwässer nach ihrer chemischen Zusammensetzung formal oder genetisch zu ordnen hat zu einer ganzen Reihe von Einteilungsprinzipien geführt auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll. Einen Überblick über das darüber vorhandene Schrifttum geben u.a. FAST u. SAUER (1958), MICHEL (1963), LÖHNERT (1967).

In unserem Fall ist es am vorteilhaftesten von einer rein beschreibenden Typengliederung auszugehen, wie sie in der Balneologie für Mineralwässer üblich ist und die formal abgrenzbaren chemischen Grundwassertypen zu den entsprechenden Speichergesteinen in Beziehung zu setzen.

Eine erste Einteilung der Grundwässer kann durch den Gesamtlösungsinhalt erfolgen indem zwischen Süßwässern mit weniger als 1000 mg/l Lösungsinhalt und Mineralwässern mit höherem Salzgehalt unterschieden wird. Diese an sich etwas willkürliche, aber allgemein übliche Abgrenzung ist bei den Grundwässern der Asse durchaus angebracht, da sich meist mit Überschreitung dieses Grenzwertes auch eine spürbare Änderung der chemischen Zusammensetzung einstellt.

Als versalzen werden Grundwässer im allgemeinen dann bezeichnet (MICHEL 1963), wenn der Gesamtlösungsinhalt oder der NaCl-Gehalt einen subjektiv feststellbaren Betrag überschreitet. Da solche Geschmacksgrenzen unterschiedlich definiert werden können und überdies nur eine äußerst ober-

flächliche Bedeutung ohne jegliche genetische Aussage haben, wird hier von einem für die Asse und ihre Umgebung ermittelten und nur für sie gültigen Erfahrungswert ausgegangen. Er bestimmt sich aus dem maximalen Chlorid-Gehalt der unbeeinflussten Grundwässer in Grundwasserleitern ohne Steinsalzauflagerungen. Dieser Wert beträgt etwa 150 mg/l. Bei einem Chlorid-Gehalt von mehr als 200 mg/l soll dann von einem versalzten Grundwasser gesprochen werden, wenn gleichzeitig der Gesamtsalzgehalt über 1000 mg/l liegt.

Als Sole gilt ein Wasser dann, wenn es mehr als 240 mval/l Chlorid bzw. Natrium (= 5500 mg Na^+ /l und 8500 mg Cl^- /l = 1,4 % NaCl) enthält.

Die eigentliche chemische Typengliederung geschieht durch die Hauptlösungskomponenten Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} indem zuerst die Kationen und dann die Anionen, jeweils in absteigender Häufigkeit, angeführt werden. Die jeweiligen Anteile sind in Milliäquivalentprozenten ausgedrückt; Werte über 50 mval % sind unterstrichen, Werte zwischen 10 mval % und 20 mval % nur bei Mineralwässern angeführt und dann in Klammern gesetzt (MICHEL 1963, FRICKE 1954 u.a.). Bei Süßwässern unterbleibt die Angabe der Bestandteile mit weniger als 20 mval %, da eine detaillierte Typengliederung nur bei genügend hohen Gesamtsalzgehalten einen Sinn hat. Bei den sehr hoch konzentrierten Solen ist es nötig zusätzlich Bestandteile niederer Konzentration, die aber unterscheidende Bedeutung haben, gesondert anzuführen.

Durch die vorherrschenden Anionen sind drei Haupttypen (Anionen-Typen) abzugrenzen nämlich Hydrogenkarbonat-Wässer, Sulfat-Wässer und Chlorid-Wässer. Sie lassen sich durch die nächst häufigeren Anionen und die Kationen in eine Reihe von Untertypen gliedern.

Nach diesem Schema lassen sich im Arbeitsgebiet folgende chemische Grundwassertypen feststellen:

S ü ß w ä s s e r

Hydrogenkarbonat-Wässer

Ca - Mg - HCO₃ - SO₄ - Typ

Ca - Mg - HCO₃ - SO₄ - Typ

Im südlichen und östlichen Elm treten auch folgende Typen auf:

Ca - Na - HCO₃ - SO₄ - Typ

Na - HCO₃ - Typ

Na - HCO₃ - SO₄ - Typ

Na - Ca - HCO₃ - Typ

Na - Mg - HCO₃ - Typ

M i n e r a l w ä s s e r

Sulfat-Wässer

Ca - SO₄ - Typ

Ca - Mg - SO₄ - HCO₃ - Typ

Ca - SO₄ - HCO₃ - Typ

Chlorid-Wässer

Na - Cl - Typ

Na - Ca - Cl - SO₄ - Typ

Na - Ca - Cl - Typ

Na - Ca - Cl - HCO₃ - Typ

Ca - Mg - Cl - HCO₃ - SO₄ - Typ

Ca - Na - Cl - SO₄ - Typ

Ca - Na - Cl - Typ

Ca - Cl - SO₄ - Typ

Bemerkenswert ist, daß alle Süßwässer dem HCO₃ - Anionentyp angehören und bei den Mineralwässern dieser Haupttyp fehlt.

In dieser Vielzahl chemischer Grundwassertypen, in deren räumlicher Verteilung und z. T. engem Nebeneinander (siehe

hydrochemische Karte) kommt deutlich die Manigfaltigkeit in der petrographischen Zusammensetzung der Grundwasserleiter und der komplizierte tektonische Bau der Asse zu Ausdruck. Eine Typologie der Grundwässer darf sich daher nicht in rein chemischen Einteilungen erschöpfen, sie muß die Beziehungen zwischen Wasser und Gestein berücksichtigen.

Eine Basis für eine geogene Typologie der Grundwässer wird von GERB (1958) gegeben. Er spricht dann von einem Grundwassertyp "... wenn sich zwischen den Eigenschaften chemisch gleichartiger Wässer und denen des geologischen Körpers, aus dem sie stammen, eine eindeutige Zuordnung herstellen läßt." Da an der Asse die Tektonik für die Anlage der Wasserwege eine entscheidende Rolle spielt ist es notwendig den Begriff des Grundwassertyps noch etwas weiter zu fassen. Wir verstehen daher unter einem Grundwassertyp in einem weiteren Sinne alle Grundwässer gleichartiger chemischer Zusammensetzung deren Eigenschaften durch einen bestimmten Gesteinskörper geprägt sind, wobei dieser Gesteinskörper keineswegs identisch zu sein braucht mit jenem in dem die Grundwässer angetroffen (d.h. erbohrt werden oder in Quellen austreten) werden. Dadurch werden auch durch Migration entstandene Mischwässer, soweit sie in ihren Eigenschaften durch einen einzigen Gesteinstyp geprägt sind, mit in diese Definition einbezogen. Wesentliche genetische Zusammenhänge werden auf diese Weise nicht zerrissen und sowohl die Beziehung zum Speichergestein als auch die zu tektonischen Strukturen berücksichtigt.

Im folgenden wird von a u t o c h t h o n e n^{*)} (ortsbürtigen) Grundwässern (bei gleicher chemischer Zusammensetzung = Grundwassertyp im Sinne GERB's) dann gesprochen, wenn sich ein Grund- oder Quellwasser während seines Kreislaufs zwischen Versickerung und Wiederaustritt in einem, seine chemische Zusammensetzung allein bestimmenden Grundwasserleiter bzw. Grundwasserleiterkomplex bewegt hat.

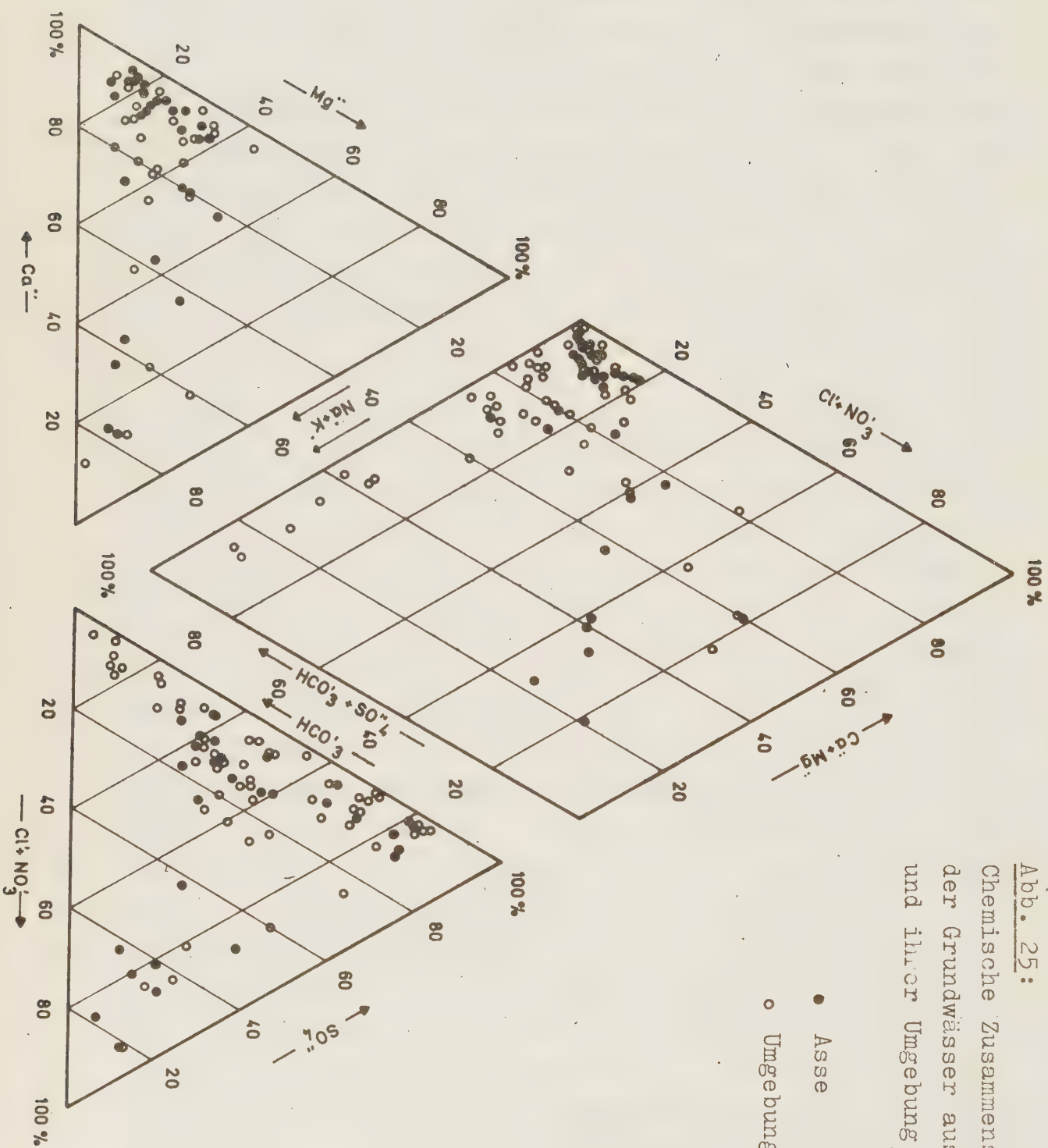
A l l o c h t h o n e^{*)} (ortsfremde, migrierte) Grundwässer sind demgegenüber an den Ort an dem sie angetroffen wur-

^{*)} siehe auch CARLÉ 1955

Abb. 25:

Chemische Zusammensetzung
der Grundwässer aus der Asse
und ihrer Umgebung

● Asse
○ Umgebung



den durch Migration aus anderen Grundwasserleitern gelangt. Hierzu werden auch Grundwässer gerechnet, welche durch Mischung zweier (oder mehrerer) Grundwässer gebildet wurden, deren chemischer Charakter aber deutlich von nur einer dieser Mischungskomponenten bestimmt ist.

4.4.1 Autochthone Grundwässer

4.4.1.1 Grundwässer aus der Kreide

Die zehn untersuchten Wässer stammen aus verschiedenen Schichten der Kreide (Senon, Plänerkalke des Turon, Cenomankalk, Flammenmergel). Das erfaßte Gebiet entspricht in etwa der, der Asse südwestlich vorgelagerten, Remlinger Kreidemulde.

Bei der geringen Zahl der zur Verfügung stehenden Analysen und der Vielzahl der Grundwasserspeicher ist es nicht möglich jedem einzelnen Grundwasserstockwerk einen entsprechenden chemischen Grundwassertyp zuzuordnen. Die Gemeinsamkeiten in der chemischen Zusammensetzung dieser Wässer erlauben es jedoch sie zusammenzufassen und den Grundwässern aus den übrigen mesozoischen Grundwasserleitern gegenüberzustellen.

Im Anionendiagramm (Abb. 26) liegen die Grundwässer aus der Kreide mit Ausnahme zweier Analysen (Rem 2 und We 2) relativ eng geschart. Die Gesamtsalzgehalte schwanken zwischen 431 mg/l und 870 mg/l (12,2 - 25,6 mval/l) also in relativ weiten Grenzen. Es handelt sich meist um Wässer des Ca - Mg - HCO_3 - SO_4 - Typs. Zum Teil sind die Alkaliegehalte erhöht (Meßstellen 9, 37 und Probenahmestellen We 11, We 13), die Wässer sind dann als Ca - Na - HCO_3 - SO_4 - Typ zu bezeichnen.

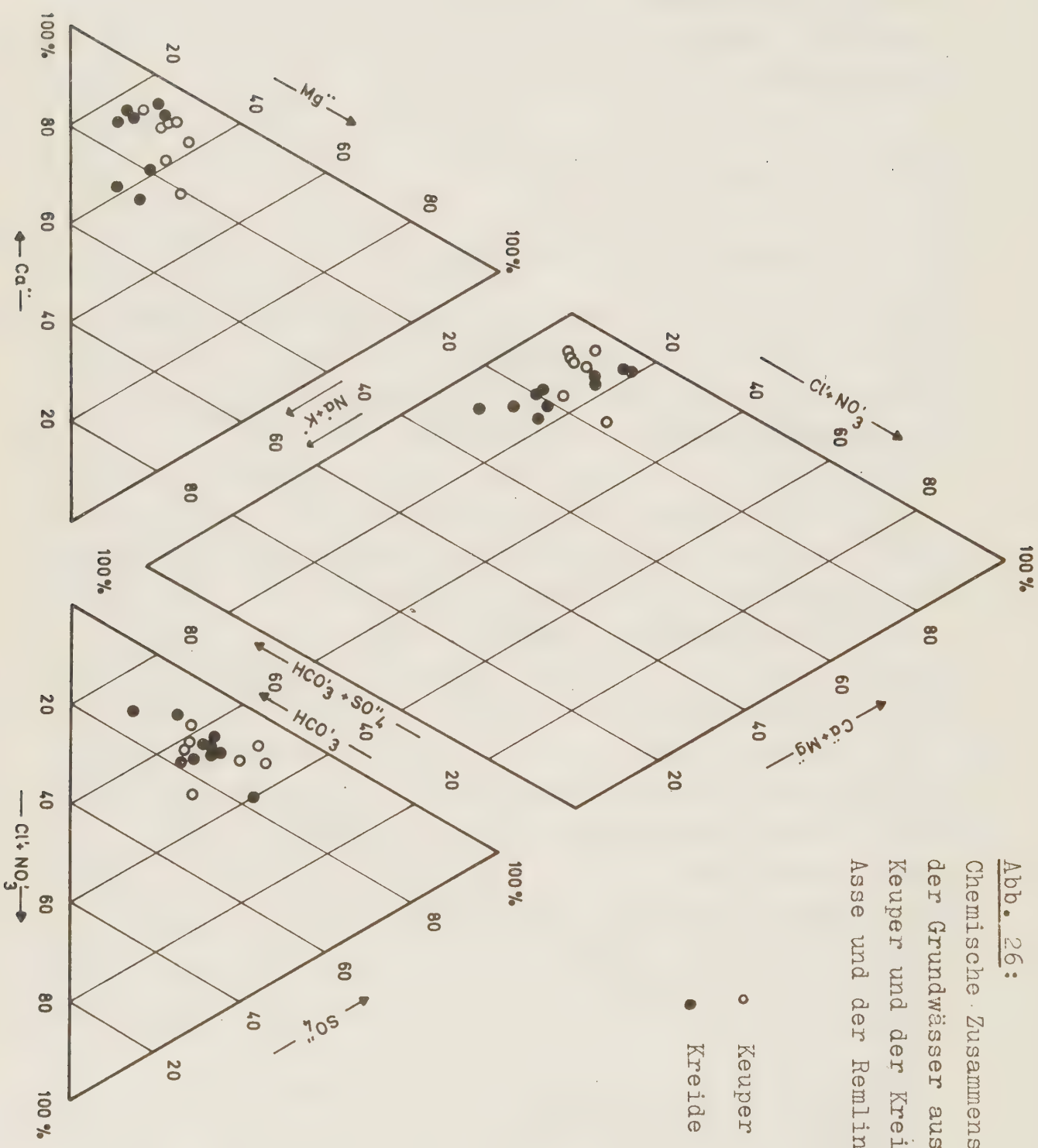
Die Kreidewässer sind hauptsächlich charakterisiert durch ihren Lösungsgehalt an Hydrogenkarbonat, dessen äquivalentprozentualer Anteil am Gesamtlösungsinhalt meist mehr als 50 % ausmacht.

Die absoluten Gehalte betragen nur bei den Analysen der Meßstellen 9 und 37 mehr als 6 mval/l in den übrigen Fällen

Abb. 26:

Chemische Zusammensetzung
der Grundwässer aus dem
Keuper und der Kreide der
Asse und der Remlinger Mulde

○ Keuper
● Kreide



5 mval/l und weniger (Mittelwert 4,9 mval/l). Sie liegen also unter dem für die Asse festgestellten Häufigkeitsmaximum von 6,0 - 6,5 mval/l siehe Abb. 17. Das $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis liegt zwischen den Extremwerten von 3,2 und 6,6 im Mittel aber bei 4,27. Der Sulfat-Gehalt (25,0 - 36,8 mval %) ist mit durchschnittlich 130 mg/l um ca. 80 - 100 mg/l niedriger als der Durchschnittsgehalt der Süßwässer aus dem Asse-Höhenzug. Die Wasserbohrung Remlingen 2 (gespanntes Wasser aus dem Cenoman-kalk) bildet mit nur 50 mg $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$ hierin eine Ausnahme. Es ist nicht eindeutig zu entscheiden ob der für Kalkgestein doch recht hohe Sulfat-Gehalt von durchschnittlich 130 mg/l auf den Einfluß triassischer Gipse des Asse-Sattels bzw. des Muldenuntergrundes zurückzuführen ist - etwa in Form einer Infiltration von Sulfatwässern - oder ob er aus den Kreidegesteinen selbst stammt.

Eine 66,5 m tiefe Aufschlußbohrung in "Senonmergeln" bei Sottmar brachte bei 28 m Wasser mit einer Gesamthärte von $30,1^{\circ}$ dH und bei 50 m von $37,0^{\circ}$ dH. Nach Ausbau des Brunnens bis 30,5 m (Filterstrecke von 13 m - 28 m unter GOK) wurde an einer Wasserprobe aus 20 m nur noch $19,7^{\circ}$ dH (73 mg $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$) festgestellt. Während eines 72-stündigen Pumpversuches sank die Gesamthärte geringfügig auf $18,6^{\circ}$ (62 - 70 mg $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$), um etwa 1 Woche nach Beendigung des Pumpversuches wieder auf $19,8^{\circ}$ (123 mg $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$) anzusteigen. Obwohl Aufschlußbohrung und ausgebauter Brunnen wegen ihrer unterschiedlichen Teufe nicht direkt vergleichbar sind, ist doch eine Teufenabhängigkeit der Gesamthärte zu erkennen.

Da außer den Gesamthärtewerten und der Karbonathärte ($20,1^{\circ}$ dKH bei 28 m und $18,5^{\circ}$ dKH bei 50 m) keine weiteren Daten über die chemische Beschaffenheit des Grundwassers aus den Bereichen tiefer als 30 m vorliegen ist eine genetische Beurteilung jedoch nicht eindeutig möglich. So fehlt die Möglichkeit zu entscheiden ob in Tiefen größer 30 m Erdalkalichlorid an der Gesamthärte beteiligt ist oder Erdalkalisulfate die hohe Härte erzeugen.

Eine Beeinflussung durch Zechsteinwässer müßte sich vor allem durch eine Erhöhung des Chlorid-Wertes bemerkbar machen, was aber bis zu einer Teufe von 30 m nicht der Fall ist.

In der Aufschlußbohrung trat bei ca. 18 m ein Spülungsverlust ein. Außerdem wurden aus dieser Tiefe zunächst beim Ausblasen in 30 Minuten 5 m^3 gefördert, beim Pumpversuch im ausgebauten Brunnen $20 - 25 \text{ m}^3/\text{h}$. Sicherlich ist in dieser Bohrung eine Zone stärkerer Zerklüftung oder sogar eine Störung angefahren worden. Aus den chemischen Analysen läßt sich weiterhin ein Überschuß an Alkalien über die Chloride berechnen. Während die Differenz Alkalien - Chlorid vor dem Pumpversuch nur $0,39 \text{ mval/l}$ betrug (innerhalb der Fehlergrenzen) stieg sie gegen Ende des Pumpversuches auf $0,94 \text{ mval/l}$, nach einer Woche sogar auf $1,9 \text{ mval/l}$ an. Auf die Deutung dieser Erscheinung wird in Abschnitt III. 4.4.3 eingegangen.

Die bei salinaren Einflüssen sonst stets vorhandenen Chlorid-Ionen treten in den Kreidewässern nicht besonders hervor, wenn auch ihr Gehalt verglichen mit dem Häufigkeitsmaximum aller Süßwässer an der Asse erhöht ist. Die Konzentrationen bewegen sich zwischen 28 mg/l und maximal 64 mg/l (durchschnittlich $42,5 \text{ mg/l}$). Da es sich bei den Einzugsgebieten dieser Grundwässer durchweg um landwirtschaftlich genutzte Flächen handelt ist eine Beeinflussung der Chlorid-Gehalte durch Kunstdüngung denkbar. Es fehlen jedoch sowohl Vergleichsmöglichkeiten mit Kreidewässern forstwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete als auch eine genügende Anzahl von zu verschiedenen Jahreszeiten angefertigten Analysen. Erhöhte Nitratwerte (vor allem bei Quellwässern) von $18,4 - 59 \text{ mg/l}$ deuten ebenfalls auf eine Verunreinigung durch Düngemittel. Die aus dem Vierstoffdiagramm der Abb. 26 ablesbare Auslängung des Belegungsfeldes in Richtung steigender Alkalienteile muß jedoch auch andere Ursachen haben, da z. B. bei den Wässern der Probenahmestellen We 11, We 13, Rem 2 und der Meßstelle 37 die Verschmutzungsindikatoren NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- und KMnO_4 -Verbrauch sehr niedrig sind bzw. sogar unter der Nachweisgrenze liegen.

Ein Sonderfall ist das Wasser aus dem Brunnen Remlingen (Meßstelle 9) dessen Kalium-Gehalte von $47,0 - 54,4 \text{ mg/l}$ (max. $1,39 \text{ mval/l}$) sich um das 10- bis 12-fache über den Normalwerten (siehe Abschn. III. 4.3.7) bewegen. Gleichzeitig sind die Chlorid-Gehalte auf $61,4$ bis 67 mg/l erhöht. Sechs Vollanaly-

sen an zu verschiedenen Jahreszeiten entnommenen Wasserproben ergaben eine konstante chemische Zusammensetzung, welche trotz NO_3^- -Gehalten von 13,6 - 24,2 mg/l, eine wesentliche Beeinflussung durch Düngung ausschließt. Es erscheint mir nicht angebracht den hohen Kalium-Gehalt von teilweise über 50 mg/l aus einer Einflußnahme salinarer Wässer herzuleiten, da eine Anreicherung von Kalium gegenüber Natrium während der Migration durch die vielfach tonigen Sedimente der Trias und des Jura nicht vorstellbar ist (das Na^+/K^+ -Verhältnis beträgt in Solewässern 41 bis 119, im Brunnen Remlingen 0,95). Vor allem wäre eine stärkere Konzentrationserhöhung des weit mobileren Chlorid-Ions zu erwarten, was jedoch nicht der Fall ist. Ein Ionenaustausch an Ort und Stelle, bei dem Natrium gegen Kalium ausgetauscht bzw. Kalium gegenüber Natrium in der Lösung stärker angereichert wird scheint mir ebenfalls nicht ohne weiteres möglich, da die Bindungsfestigkeit des Kaliums an Austauschersubstanzen meist größer ist als die des Natriums (siehe Abschn. III. 4.4.3). So bleibt nur noch die Möglichkeit den Kalium-Gehalt aus der Zersetzung Kaliumhaltiger Minerale herzuleiten. Wie in Abschnitt II. 2.6 bereits erwähnt sind die in Frage kommenden Sedimente (sandig-schluffiger Mergelstein der Oberen Kreide) hier z. T. stark glaukonithaltig. Es wäre also möglich aus dem Glaukonit (häufige Zusammensetzung nach NIGGLI 1952: $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3:(\text{Mg,Fe})\text{O}:\text{K}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O} = 8:1:1:1:1:3$) die nötige Menge an K^+ -Ionen abzuleiten. Nach RAMDOHR u. STRUNZ (1967) sind Glaukonite von 2 - 15 % K_2O -Gehalt am häufigsten. Wenn man bedenkt, daß die Verwitterung den Glaukonit relativ leicht angreift, so wäre dieser hohe Gehalt an K^+ -Ionen durchaus aus dem Vorkommen von Glaukonit abzuleiten. An den Endprodukten der Verwitterung ist nach TRÖGER 1967 der Limonit besonders stark beteiligt. Das ist gut in Einklang zu bringen mit dem erhöhten Eisengehalt (0,1 - 0,35 mg Fe^{++}/l) dieses Wassers.

Zusammenfassend ergibt sich die chemische Charakteristik der Kreidewässer wie folgt (Mittelwerte in Klammern):

Gesamt-salzgeh.	mg/l mval/l	431 - 870 12,2 - 25,6	(677) (19,2)
pH-Wert		6,9 - 7,9	(7,33)
Cl ⁻	mg/l mval/l	28 - 64 0,78 - 1,8	(42,5) (1,2)
SO ₄ ²⁻	mg/l mval/l	50 - 176 1,04 - 3,66	(130) (2,7)
HCO ₃ ⁻	mg/l mval/l	159 - 387 2,61 - 6,3	(300,8) (4,9)
NO ₃ ⁻	mg/l mval/l	0,5 - 59 0,08 - 0,95	(29,4) (0,47)
Ca ²⁺	mg/l mval/l	94 - 198 4,7 - 9,9	(134) (6,8)
Mg ²⁺	mg/l mval/l	10,1 - 25,4 0,83 - 2,09	(19,1) (1,57)
Na ⁺ +K ⁺ (ber.)	mval/l	0,43 - 2,79	(1,48)
≅ Na ⁺	mg/l	9,9 - 64	(34)
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	(mval-Verh.)	3,2 - 6,64	(4,27)
SiO ₂	mg/l	19 - 27	(24,3)
Fe ²⁺	mg/l	0,05 - 1,4	(0,38)

4.4.1.2 Grundwässer aus dem Keuper

Bedingt durch die weitgehend tonig-mergelige Ausbildung dieser Sedimente sind Grundwässer nur in den Steinmergelbänken des Mittleren Keupers und im Rätsandstein erschlossen.

Die chemische Zusammensetzung dieser Wässer ist relativ uneinheitlich, weil sich der räumlich stark wechselnde Gipsgehalt in ungleichen Sulfatkonzentrationen bemerkbar macht. Dieser Einfluß kann sogar zu Gipswässern führen, die an SO₄²⁻ gesättigt sind (Meßstelle 34, Probenahmestellen Ü 1, Ü2). Trotzdem nur sieben Analysen von Keuperwässern aus der Asse

vorliegen kann man folgende hydrochemische Unterschiede zu den Wässern der Kreide feststellen:

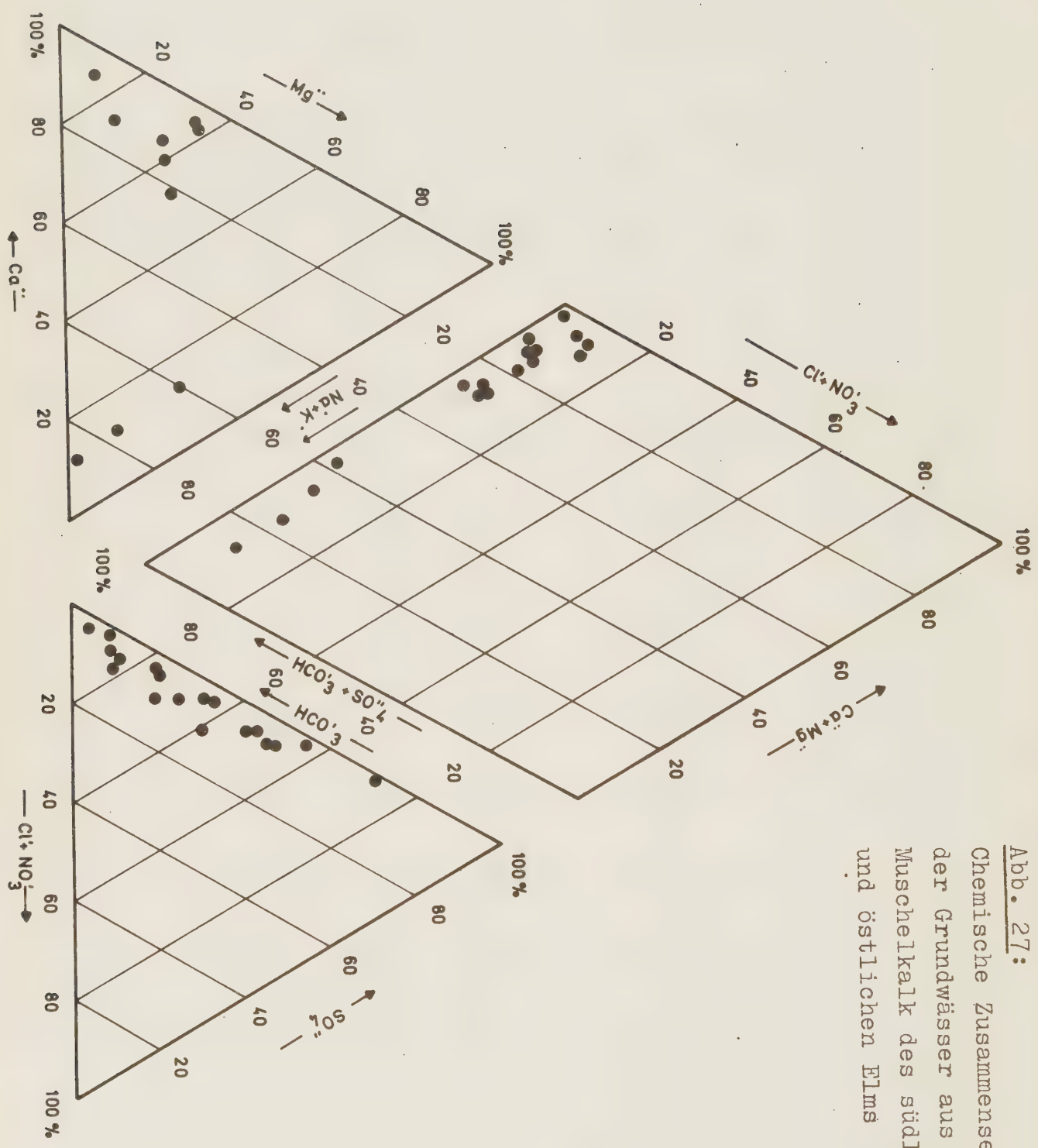
1. die Gesamtsalzgehalte liegen im allgemeinen mit 779 - 954 mg/l (21,3 - 26,5 mval/l) etwas höher als bei den Kreidewässern.
2. Die Hydrogenkarbonat-Gehalte betragen zwischen 5,55 und 6,42 mval/l, liegen also im Gegensatz zu denen der Kreidewässer innerhalb des HCO_3^- -Häufigkeitsmaximums (Abb.17).
3. Das Milliäquivalent-Verhältnis von $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ist mit 2,12 - 3,11 niedriger als bei den Kreidewässern (3,2 - 6,64; Mittel: 4,27).
4. Die Sulfatgehalte können höhere Werte annehmen.

Zusammenfassend ergibt sich für die Keuperwässer folgende hydrochemische Charakteristik (Mittelwerte in Klammern):

Gesamt-salzgeh.	mg/l mval/l	779 - 954 21,3 - 26,5	(860) (24,2)
pH-Wert		6,5 - 8,1	(7,3)
Cl^-	mg/l mval/l	34 - 130 0,96 - 3,66	(70,8) (1,99)
SO_4^{2-}	mg/l mval/l	145 - 380 3,02 - 7,91	(243) (5,06)
HCO_3^-	mg/l mval/l	231 - 426 3,78 - 6,99	(352) (5,76)
NO_3^-	mg/l mval/l	Spuren - 70 Spuren - 1,13	(22,4) (0,36)
Ca^{2+}	mg/l mval/l	138 - 230 6,9 - 11,5	(168) (8,4)
Mg^{2+}	mg/l mval/l	28 - 51 2,3 - 4,2	(37) (3,2)
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (ber.) $\approx \text{Na}^+$	mval/l mg/l	0,57 - 2,28 13,1 - 52,5	(1,31) (30,2)
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	mval-Verh.	2,12 - 4,16	(2,8)
SiO_2	mg/l	7,3 - 21,0	(13,0)
Fe^{2+}	mg/l	0,05 - 1,0	(0,34)

Abb. 27:

Chemische Zusammensetzung
der Grundwässer aus dem Oberen
Muschelkalk des südlichen
und östlichen Elms



4.4.1.3 Grundwässer aus dem Muschelkalk

Sieht man von den Gipskarstwässern aus dem Mittleren Muschelkalk ab, so ist an der Asse nur ein Quellwasser (Meßstelle 36) als reines, autochthones Muschelkalkwasser (hier Trochitenkalk) anzusprechen. Aus diesem Grunde kann für Muschelkalkwässer eine nur auf Assewässern basierende Typologie nicht aufgestellt werden. Wir sind daher auf eine vergleichende Betrachtung der Muschelkalkwässer aus dem Elm angewiesen.

Auf dem Anionen-Diagramm der Abb. 27 streuen die Analysenpunkte in einem langen schmalen Streifen längs der " HCO_3^- - SO_4^{2-} "-Seite und zeigen so einen stark veränderlichen SO_4^{2-} -Gehalt an. Da die untersuchten Quellen und Brunnen ausnahmslos im Trochitenkalk bzw. in den Ceratitenschichten liegen und diese Schichten keinen Gips enthalten muß der Herkunfts-ort der höheren Sulfatgehalte in den Gipsablagerungen des Mittleren Muschelkalks zu suchen sein. Das Auftreten von Austauschwässern (NaHCO_3 - und Na_2SO_4 -Wässer) in Verbindung mit Spaltenquellen und Artesern (siehe 4-Stoff-Diagramm der Abb. 27 und Abschnitt III. 4.4.1) deutet ebenfalls auf hydraulische Verbindungen mit dem Mittleren Muschelkalk.

Es handelt sich bei den gipsreichen Wässern aus dem Oberen Muschelkalk also streng genommen nicht um autochthone Wässer. Sie sollen jedoch wegen der unmittelbaren Nachbarschaft des Erschließungsortes der Wässer (Oberer Muschelkalk) zum Ausgangsort der einflußnehmenden Gipslösungen (Mittlerer Muschelkalk) und wegen des gleitenden Übergangs von gipsarmen HCO_3^- -Wässern zu SO_4^{2-} -Wässern als quasi-autochthon angesehen werden.

Für die Grundwässer des Oberen Muschelkalks am Elm und der Meßstelle 36 an der Asse ergibt sich folgende hydrochemische Charakteristik (Mittelwerte in Klammern):

Gesamt-	mg/l	570 - 1530	(885)
salzgeh.	mval/l	15,7 - 47,6	(24,4)
pH-Wert		6,8 - 8,3	(7,35)

Cl ⁻	mg/l	10,6 - 42,5	(22,7)
	mval/l	0,3 - 1,2	(0,64)
SO ₄ ²⁻	mg/l	17,0 - 804	(250)
	mval/l	0,4 - 16,7	(5,2)
HCO ₃ ⁻	mg/l	312 - 470	(382)
	mval/l	5,1 - 7,69	(6,25)
NO ₃ ⁻	mg/l	3,8 - 15,6	(7,4)
	mval/l	0,06 - 0,25	(0,12)
Ca ²⁺	mg/l	128 - 284	(165)
	mval/l	6,4 - 14,2	(8,26)
Mg ²⁺	mg/l	8,5 - 63,1	(34,9)
	mval/l	0,7 - 5,2	(2,87)
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	mval-Verh.	1,99 - 6,09	(2,5)
Na ⁺ + K ⁺ (ber.)	mval/l	0,30 - 3,28	(1,62)
= Na ⁺	mg/l	6,9 - 75,5	(37,2)

4.4.1.4 Grundwässer aus den Gipslagern des Röt und des Mittleren Muschelkalks

Gipsablagerungen sind nur im Röt und im Mittleren Muschelkalk von größerer zusammenhängender Mächtigkeit und dann auch grundwasserführend und verkarstet (siehe Abschn. III. 2.2.1.2). Da die Gipshorizonte des Röt und des Mittleren Muschelkalks weitgehende petrographische und hydrogeologische Gemeinsamkeiten aufweisen, kann ihnen ein gemeinsamer chemischer Grundwassertyp zugeordnet werden.

Im Röt und im Mittleren Muschelkalk kommen überwiegend reine Ca - SO₄ - Wässer, bei geringeren Sulfat-Gehalten auch Ca - SO₄ - HCO₃ - Wässer, mit Gesamtsalzgehalten zwischen 37 und 82 mval/l (1290 - 2772 mg/l) vor. Sie sind also ausnahmslos als Mineralwässer zu bezeichnen. Charakteristisch sind besonders die überwiegend nahe der Sättigungsgrenze liegenden Sulfatkonzentrationen (1139 - 1480 mg/l) bei den temperaturkonstanten und gleichmäßig ergiebigen Gipskarstwässern. Die Wässer stehen offensichtlich mit den verkarsteten Gipsgesteinen im chemischen Gleichgewicht, wofür auch die zeitliche

Tab. 9: Chemische Zusammensetzung einiger Sulfatwässer aus Norddeutschland
(aus DIENEMANN und FRICKE 1961)

Bezeichnung	Gesamt- salzgeh. (mg/l)	SO ₄ ⁻⁻		HCO ₃ ⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Cl ⁻	Herkunft
		mg/l	mval%	mg/l	mval%	mg/l	mval%	mg/l	mval%		
BAD BENTHEIM											
Neue Quelle	2635	1351	75,0	512	22,4	658	87,5	42,3	9,3	21,4	Wealden, Serpulit
Alte Quelle	2462	1212	71,6	512	23,8	518	73,3	87,4	20,4	39,6	Münder Mergel
HÜSEDE											
Badequelle	2468	1408	81,9	274	12,5	622	86,7	31,7	7,3	71,0	Münder Mergel
Hauptbrunnen	2534	1400	79,7	352	15,8	617	89,2	36,0	8,1	58,0	
LEVEREN HEILBAD											
MEYERHOF,											
Schwefelquelle 1	2720	1529	82,3	376	16,0	598	77,2	61,5	13,1	19,5	Malm
Schwefelquelle 2	2440	1337	81,0	339	16,2	512	71,9	56,2	13,0	24,8	
FIESTEL	2362	1352	83,0	293	14,1	589	86,6	35,1	8,5	29,5	Münder Mergel
HOLZHAUSEN											
Quelle von Bringewatt	2233	1204	88,7	153	8,9	632	76,5	27,6	5,5	24,6	Münder Mergel
ROTHENUFFLEN-											
PIEWITSKRUG											
Quelle von Behren	2363	1358	82,0	293	14,0	631	91,0	30,4	7,0	42,6	Münder Mergel
ROTHENUFFLEN-											
GRIEFSHOP											
Quelle von Kleinemeier	2512	1359	78,9	362	16,5	643	89,5	19,9	4,5	56,6	Münder Mergel
Quelle von Dammermann	2402	1434	85,2	250	12,0	643	90,8	38,9	9,1	35,5	
BÜNDE i. W.											
Quelle 3	2893	1355	68,0	372	15,0	594	65,0	64,8	8,0	19,2	?
STEINSIEK b. LÖHNE											
Margarethenquelle	2214	1283	82,2	275	14,1	559	87,0	42,1	11,0	42,6	Trias oder Zechstein
BAD LIPPSPRINGE											
Arminiusquelle	2419	1041	62,3	508	23,9	471	67,6	66,4	15,7	16,9	Mesozoikum oder Zechstein
BAD MEINBURG											
Moorbrunnen	2378	1439	87,3	244	11,7	584	83,6	56,4	13,3	9,7	? Trias
Altbrunnen	2443	1405	83,7	317	14,9	575	77,8	86,7	19,3	12,8	
Neubrunnen	2434	1480	87,2	256	11,9	582	82,8	60,4	14,2	9,6	
BAD NENNDORF											
Badequelle	1819	813	65,9	447	28,5	378	73,5	54,7	17,5	45,3	Malm
Kraterquelle	2378	1389	82,9	320	15,1	585	91,8	19,0	4,9	24,8	
Trinkquelle	2458	1237	71,8	381	17,4	427	59,6	84,6	19,4	113,4	
BAD EILSEN											
Julianenbrunnen	3139	1648	74,7	461	16,5	633	68,8	126,6	22,7	117,2	Münder Mergel
WINZLAR b.											
Bad Rehberg											
Schwefelquelle	2673	1589	85,0	312	13,1	586	74,9	105,5	22,2	22,4	Malm

Konstanz der Sulfatgehalte spricht.

Wie der Vergleich mit Mineralwässern aus Norddeutschland (Tab. 9) zeigt sind schichtgebundene Grundwässer vom Ca - SO₄ - Typ dort recht häufig und oft ebenfalls an CaSO₄ gesättigt bzw. nahezu gesättigt (Sättigungskonzentration für reines Wasser bei 20° C: ca. 1400 mg/l SO₄⁻ bzw. 600 mg/l Ca⁺⁺; siehe Tab. 6).

Bemerkenswert sind auch die relativ geringen Chlorid-Gehalte der Gipswässer an der Asse die 30 - 140 mg/l, meist jedoch nur um 40 mg/l, betragen (Mittelwert 78,3 mg/l). Ein Vergleich mit ähnlichen Wässern aus dem Elm ergibt das gleiche Bild.

Nach LOTZE (1957) sind Steinsalzlager im nördlichen Harzvorland im Röt (Saline Schöningen) und im Mittleren Muschelkalk (Braunschweig, Salzgitter) vorhanden. Wahrscheinlich muß man auch an der Asse mit Steinsalzeinlagerungen im Röt und im Mittleren Muschelkalk rechnen, die aber zumindest im Einflußbereich des am Kreislauf teilnehmenden Grundwassers bereits abgelaugt sein müssen.

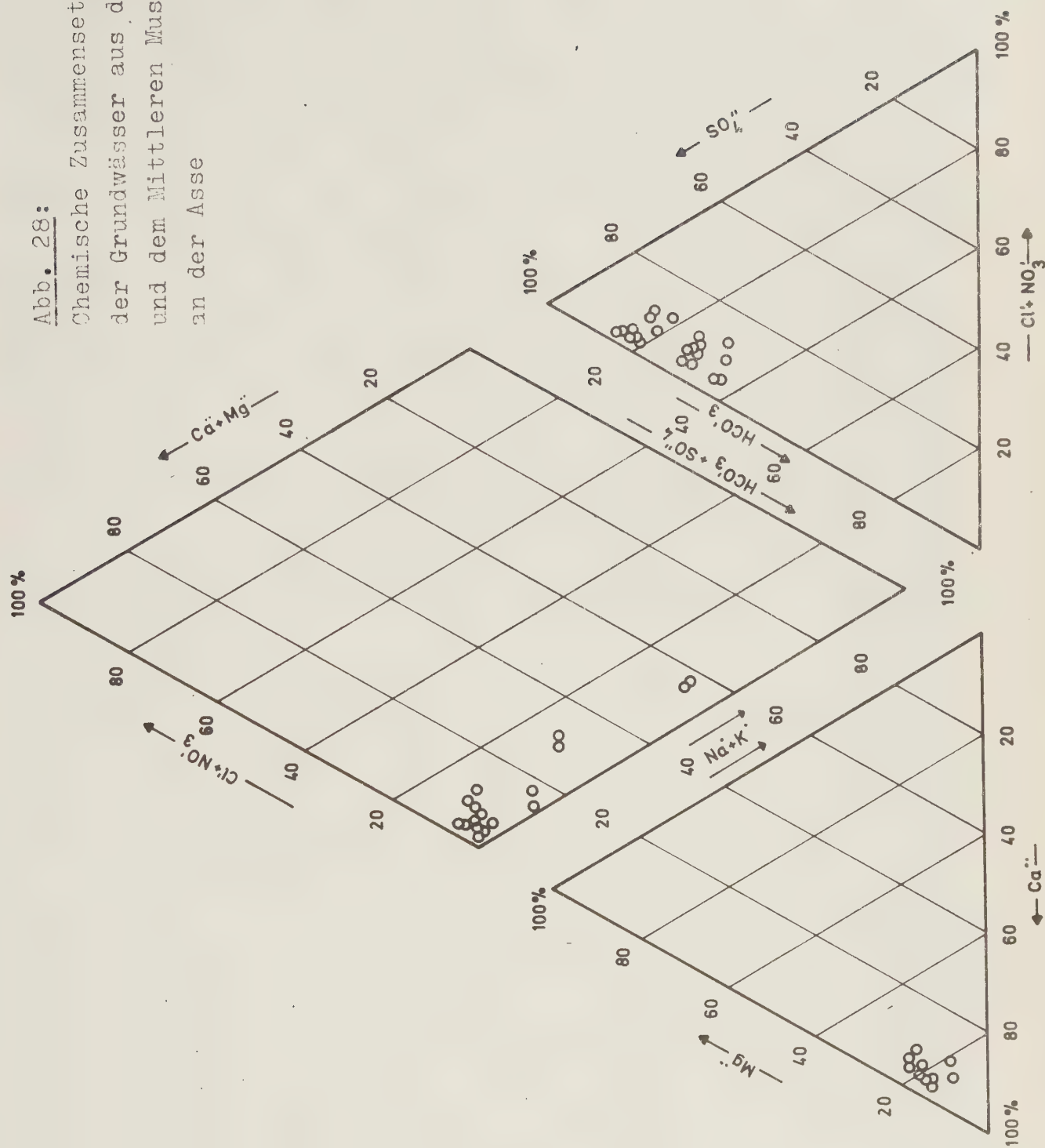
Die Alkali-Gehalte sind in diesen Wässern den Chloridkonzentrationen ungefähr äquivalent. Der Na⁺/K⁺-Quotient (Äquivalent-Verhältnis) schwankt relativ stark zwischen 5,6 und 36, entsprechend Kalium-Werten von 2,1 bis 12,5 mg/l.

Tab. 10: Nebenbestandteile der Gipswässer

Analyse	Li ⁺ mg/l	HBO ₂ mg/l ²	Br ⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Sr ⁺⁺ mg/l
2/6	0,05	0,26	0,3	5,6	9,2
3/6	0,04	0,19	0,2	3,2	12,0
6/6	0,04	0,13	0,2	2,1	6,2
10/6	0,05	0,19	0,15	2,9	8,4
14/6	0,10	0,20	0,2	6,7	12,0
18/6	0,12	0,54	0,2	7,6	12,3
21/6	0,12	0,42	0,1	4,3	13,8
32/6	0,12	0,42	0,2	4,8	13,2
34/6	0,10	0,35	0,7	12,5	9,8
50/7	0,02	0,10	0,2	2,6	3,4

Abb. 28:

Chemische Zusammensetzung
der Grundwässer aus dem Röt
und dem Mittleren Muschelkalk
an der Asse



Die HCO_3^- -Gehalte unterliegen größeren zeitlichen Schwankungen. In den Sommermonaten enthalten jedoch alle Wässer mehr als 360 mg HCO_3^- /l (mehr als 6 mval HCO_3^- /l), Gipskarstwässer sogar mehr als 400 mg/l. Der $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ -Quotient (Milliäquivalent-Verhältnis) hat nicht immer die für CaSO_4 -Wässer typischen hohen Werte um 10; er bewegt sich vielmehr auch in Bereichen die für Kalkgesteine charakteristisch sind (etwa um 5). Daraus dürfen wir auf eine verstärkte Dolomitlösung schließen, was der hohe Magnesiumanteil (35,3 - 87,6 mg/l) durchaus bestätigt. Von den Nebenbestandteilen ist die Kieselsäure mit 10,0 bis 19,2 mg SiO_2 /l am bedeutendsten. Lithium, Bor und Brom sind, wie zu erwarten war, gegenüber den Süßwässern angereichert (siehe Tab. 10). Sie liegen mitunter sogar über den Gehalten chloridreicher Wässer.

Für diese Gipswässer ergibt sich folgende hydrochemische Charakteristik (Mittelwerte in Klammern):

Gesamt-	mg/l	1290 - 2772	(2196)
salzgeh.	mval/l	37 - 82,4	(64,7)
pH-Wert		6,9 - 7,6	(7,15)
Cl^-	mg/l	28 - 138	(78,3)
	mval/l	0,79 - 4,13	
SO_4^{2-}	mg/l	513 - 1480	(1100)
	mval/l	10,7 - 30,8	(23)
HCO_3^-	mg/l	354 - 423	(396)
	mval/l	5,79 - 6,93	(6,5)
NO_3^-	mg/l	2,6 - 21,2	(9,8)
	mval/l	0,04 - 0,34	(0,16)
Ca^{2+}	mg/l	258 - 651	(520)
	mval/l	14,2 - 32,5	(26)
Mg^{2+}	mg/l	35,3 - 87,6	(52,5)
	mval/l	2,9 - 7,2	(4,3)
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	mval-Verh.	4,1 - 10,6	(6,49)
Na^+	mg/l	15,2 - 91	(42,3)
	mval/l	0,66 - 3,96	(1,84)
K^+	mg/l	2,1 - 12,5	(5,2)
	mval/l	0,05 - 0,32	(0,13)
SiO_2	mg/l	10,0 - 19,2	(13,8)
Fe^{2+}	mg/l	0,05 - 0,61	(0,22)

4.4.1.5 Grundwässer aus dem Zechsteinhutgebirge

Zu den Grundwässern aus dem Zechsteinhutgebirge (im folgenden = Zechsteinwässer) rechnen wir alle Wässer welche im Gipshut oder verstürzten Deckgebirge zirkulieren und welche in ihrer chemischen Zusammensetzung ausschließlich durch Auflösung von Zechsteinsalzen und -gipsen bestimmt sind. Solche Wässer treten an der Asse nur in einem etwa $1/4$ qkm großen Bereich der Subrosionssenke bei Groß Denkte zu Tage. Gegenwärtig sind hier drei Solequellen mit einer Gesamtschüttung von 2 bis 3 l/s bekannt. In früheren Jahren wurde mehrmals über weitere Salzquellen berichtet. Es liegen auch Analysenergebnisse darüber vor (siehe Tab. 11 und 13). Wenn auch ihre Austrittsorte meist nur ungenau angegeben sind, so kann man doch sagen, daß sämtliche, im Bereich der Subrosionssenke bekannt gewordenen, lokalisierbaren Salzwasseraustritte auf das Gebiet zwischen dem Ost-West verlaufenden Bleier Weg bei Groß Denkte im Süden und der tektonischen Grenze zum Asse-Nordflügel im Norden beschränkt sind. Die Zechsteinwässer verbleiben also während ihres Aufstieges stets in den über dem Zechsteinsalzkörper befindlichen Hutbildungen.

Wir können das Zechsteinhutgebirge als eine, wenn auch vertikalen und horizontalen Änderungen in der petrographischen Zusammensetzung und der Wasserwegsamkeit unterworfenene, hydrogeologische und hydrochemische Einheit den schichtförmigen Grundwasserleitern der Sattelflanken gegenüberstellen.

Über die petrographische Beschaffenheit und Mächtigkeit der Hutbildungen bei Groß Denkte ist nichts bekannt. Man geht aber wohl nicht fehl wenn man einen ähnlichen Aufbau wie in der Umgebung der Schächte Asse I und Asse II annimmt, d. h. daß sich über dem eigentlichen Gipshut ein aus Zechsteinrückstandsbildungen (Gipse, Anhydrite und Tone) und mehr oder minder zerütteten Deckgebirgsschollen (hauptsächlich Buntsandstein) zusammengesetzter Bereich befindet.

Der Salzspiegel erreicht bei Groß Denkte sicher seine höchste Lage an der Asse; er dürfte nicht viel tiefer als 100 m unter Gelände liegen.

Für die Charakteristik der chemischen Beschaffenheit der Hutgesteinswässer reichen die wenigen der Beobachtung zugänglichen Quellwässer gerade noch aus.

Allgemein läßt sich sagen, daß bei ungestörten Verhältnissen in wasserführenden Hutbildungen über Salzspiegeln konzentrierte NaCl-Solen vorhanden sind (RICHTER-BERNBURG 1968), deren Salzgehalt zum Hangenden hin abnimmt. Die Sulfatgehalte können, bei ausreichendem Sulfatangebot, entsprechend der hohen Sulfatlöslichkeit konzentrierter NaCl-Wässer ebenfalls höchste, nahe der Sättigungskonzentration liegende Werte erreichen. Durch versickernde Niederschlagswässer werden diese Gipshutlaugen mit Süßwasser überschichtet (KELLER 1956). Fehlen vertikale Grundwasserströmungen, so kann sich eine relativ scharfe Grenzzone zwischen Süß- und Salzwasser ausbilden (RICHTER-BERNBURG 1968, u. a.). In unserem Fall muß jedoch, aufgrund des Austretens konzentrierter Salzwässer über Tage ein vertikaler Austausch zwischen den Gipshutlaugen und dem darüberliegenden Süßwasser stattfinden. Dieser vertikale Austausch ist auch dadurch belegt, daß in oberflächennahen Bereichen des Grundwasserkörpers bei Groß Denkte stärkere Salzkonzentrationen auftreten (salzhaltige Drainagewässer und Baugrubenwässer). Er hat seine Ursache in den weiter unten noch zu besprechenden hydraulischen Druckverhältnissen.

Die Zechsteinwässer, die bei Groß Denkte meist als Quellaufstöße zu Tage treten, sind überwiegend Solen mit Gesamtsalzgehalten zwischen 19,9 g/l und 213 g/l (Meßstellen 24, 52, 63; Probenahmestellen GD 2, GD 3, GD 4).

Der chemischen Zusammensetzung nach handelt es sich bei den Zechsteinwässern um

Na - Cl - Sole

Na - (Ca) - Cl - Sole

Na - (Ca) - Cl - (SO₄) - Sole bzw. Wasser

Na - Ca - (Mg) - Cl - SO₄ - Wasser

Natrium und Chlorid überwiegen mit 55,9 bis 92,8 bzw. mit 74,0 bis 97,9 mval % und drängen die relativen Anteile der übrigen Lösungsgenossen stark zurück. Einzig die Erdalkalien und die

Tab. 11: Hauptlösungsbestandteile der Zechsteinwässer

Analyse	Gesamtsalz- gehalt	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Erdalkali- chloridgehalt	
									mmol/l	% von Ges.Cl ⁻
24/7 mg/l mval/l	32390 1088	16870 475	3290 68,5	364 5,9	9600 417	394 10,1	1300 64,9	572 47,0	37,5	7,9
52/7 mg/l mval/l	213140 7258	128200 3615	3640 75,7	240 3,9	76000 3305	1740 44,5	1840 91,8	1480 121,7	134	3,7
63/7 mg/l mval/l	134844 4612	78300 2208	3600 74,9	319 5,2	48500 2109	1195 30,6	1760 87,8	1170 96,2	104	4,7
GD 2 mg/l mval/l	135136 4546	78100 2180	4800 100	366 6	47500 2076	680 17,4	1770 88,1	1920 158	140	6,4
GD 3 mg/l mval/l	96528 3348	57600 1625	2120 44,1	312 5,1	28500 1229	516 13,2	5900 294	1680 138	383	23,6
GD 4 mg/l mval/l	19899 677	10600 298	1660 34,6	380 6,2	6050 273	99 2,5	865 42,9	245 20,1	22	7,4
GD 5 mg/l mval/l	12266 526	6975 197	3060 63,6	366 6	147,7		1240 67	625 51,4	54	27,5

Sulfate sind daneben für die chemische Typisierung noch von wechselnder Bedeutung.

Der Kalium-Gehalt ist mit 0,7 - 1,9 mval % der Kationen unwesentlich. Das Milliäquivalent-Verhältnis von Na^+/K^+ liegt mit 41 bis 119 weit über den Werten der süßen Grundwässer. Kalzium und Magnesium sind teilweise an Chloride gebunden. Der Anteil der Erdalkalichloride am Gesamtchloridgehalt beträgt zwischen 3,7 und 7,9 % (ausnahmsweise bis 27,5 %), das entspricht 22 - 383 mmol/l Erdalkalichlorid.

Denkt man sich die gesamte gelöste SO_4^{2-} - und HCO_3^- -Menge an Kalzium gebunden, so beträgt der maximal vorhandene MgCl_2 -Anteil 36 bis 100 % vom gesamten Erdalkalichlorid-Gehalt.

In einem Fall (Analyse GD 3 siehe Tab. 11) sind etwas größere Mengen von CaCl_2 vorhanden die nicht ohne weiteres durch Auflösung von kalziumchloridhaltigen Salzen erklärbar sind. Das einzige dafür in Frage kommende Salzmineral, das leichtlöslichste aller Salze, der Tachhydrit ($\text{Mg}_2\text{CaCl}_6 \cdot \text{aq}$) ist zwar in carnallitischen Kalisalzlagern örtlich reichlich vorhanden (RICHTER-BERNBURG 1968, S. 928, Tab. A), das Verhältnis von $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ist im Tachhydrit jedoch nur 0,5 während es in dem entsprechenden Solwasser 1,8 beträgt. Wahrscheinlich spielen ionenaustauschende Vorgänge eine Rolle, die Na^+ -Ionen an die Austauschermasse binden und Ca^{++} -Ionen in Lösung gehen lassen (siehe Abschn. II 4.4.3). Bei den übrigen Zechsteinsolen sind maximal 9 % des Erdalkalichlorids als CaCl_2 vorhanden, sodaß MgCl_2 stark überwiegt. Der Anteil der Erdalkalichloride am Gesamtsalzgehalt beträgt meist nur 1,9 - 3,5 %. Im Bereich des Subrosionsniveaus scheinen demnach Carnallitgesteine nur wenig angeschnitten zu sein.

Als weiterer wichtiger Lösungsbestandteil ist das Sulfat mit 1660 - 4800 mg/l (meist über 3000 mg/l), entsprechend einem äquivalentprozentualen Anteil von 2,0 - 23,5 %, gelöst. Da Kalzium stets in dem Sulfat äquivalenten Mengen und mehr vorhanden ist, aber nur bei der oben beschriebenen CaCl_2 -haltigen Sole diese Beträge wesentlich überschreitet, kann man annehmen, daß der größte Teil des Sulfates als Gips (oder Anhydrit) in

Tab. 12: Nebenbestandteile und Spurenelemente der Zechsteinsolen

Bestandt. mg/l	M e ß s t e l l e			Nr.
	24	52	63	
pH	6,6	6,3	6,3	
fr. CO ₂	77	100	66	
Li ⁺	0,1	—	—	
Sr ⁺⁺	13,6	10,0	8,0	
Fe ⁺⁺	0,05	2,4	0,05	
Mn ⁺⁺	0,1	0,33	0,27	
Zn ⁺⁺	0,1	0,01	0,08	
NO ₃ ⁻	10,4	0,1	0,1	
Br ⁻	25,7	84,0	63,2	
J ⁻	0,1	0,1	0,1	
HBO ₂	0,9	5,3	4,1	
SiO ₂	10,0	5,8	18,5	

Tab. 13: Äquivalentprozentuale Zusammensetzung der Zechsteinwässer

Analyse	Na ⁺ mval%	K ⁺ mval%	Ca ²⁺ mval%	Mg ²⁺ mval%	Cl ⁻ mval%	SO ₄ ²⁻ mval%	HCO ₃ ⁻ mval%	Gesamtsalz- gehalt mg/l
24/7	77,4	1,9	12,0	8,7	86,4	12,5	1,1	32390
52/7	92,8	1,2	2,6	3,4	97,9	2,0	0,1	213140
63/7	90,8	1,3	3,8	4,1	96,5	3,3	0,2	134844
GD 2	88,8	0,7	3,8	6,7	94,4	4,3	0,3	135136
GD 3	73,5	0,8	17,5	8,2	97,1	2,6	0,3	96528
GD 4	81,0	0,7	12,4	5,9	88,0	10,2	1,8	19899
GD 5	55,9		25,2	18,9	74,0	23,6	2,4	12266

Lösung gegangen ist. Das hohe Lösungsvermögen der NaCl-Solen bezüglich CaSO_4 (siehe Tab. 6 Abschn. III. 4.3.3) und das reichliche Angebot an Sulfaten im Gipshut unterstützen diese Annahme.

Mengenmäßig völlig belanglos ist der Hydrogenkarbonat-Gehalt in den Zechsteinwässern (0,1 - 2,4 % der Anionen). Bemerkenswert ist aber, daß er bei den verschiedenen Zechsteinwässern, die sehr unterschiedliche Gesamtsalzgehalte aufweisen nur innerhalb enger Grenzen (312 - 388 mg/l; ausnahmsweise 240 mg/l) variiert. Auf diese Tatsache, die auch für fast alle übrigen Grundwässer in der Asse gilt, ist bereits in Abschnitt III. 4.3.2 eingegangen.

Tab. 14: Ionenquotienten der Zechsteinwässer

Analyse	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	Na^+/K^+	Alk/EAlk	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$
24/7	1,38	41	3,8	6,9
52/7	0,75	74	15,7	47,7
63/7	0,91	69	11,6	29,5
GD 2	0,56	119	8,5	21,8
GD 3	2,13	93	2,9	36,8
GD 4	2,13	109	4,4	8,6
GD 5	1,30	-	1,3	3,8

In Tabelle 12 sind die Nebenbestandteile und Spurenelemente dreier Zechsteinsolen zusammengestellt. Ihre Gehalte unterscheiden sich nur wenig von denen der sulfatischen Mineralwässer (= Gipswässer) aus dem Röt und dem Mittleren Muschelkalk (siehe Tab. 10). Eine Ausnahme bilden die Bromid-Gehalte, die mit 25,7 - 84,0 mg/l vergleichsweise hoch sind, was jedoch in Zusammenhang mit extremen Chlorid-Gehalten nicht verwunderlich ist. Ähnliches gilt für die Borsäure deren Konzentration zwischen 0,9 und 5,3 mg/l liegt.

Zusammenfassend lassen sich die Zechsteinwässer an der Asse als NaCl-Solen bzw. -Mineralwässer charakterisieren. Ihre chemische Zusammensetzung ist durch wechselnde, aber meist

nur relativ geringe Erdalkalichlorid-Gehalte sowie durch etwa einheitlich hohe Sulfatkonzentrationen modifiziert. Die Tabelle 13 gibt einen Überblick über die äquivalentprozentuale Zusammensetzung der Zechsteinwässer.

Die Diagramme der Abb. 29 - 32 ermöglichen einen Vergleich dieser Wässer mit den übrigen Grundwässern der Asse.

4.4.2 Allochthone Grundwässer

An der Asse treten neben den stark Natriumchlorid-haltigen bis nahezu an Natriumchlorid gesättigten Zechsteinsolen und neben den relativ chloridarmen autochthonen Grundwässern aus der Trias und Kreide (maximal 150 mg Cl^-/l) auch Mineralwässer auf, die zwischen den beiden Typen mit einem Gehalt von 300 mg/l bis 1600 mg/l Chlorid liegen. Ihr Chlorid-Gehalt kann nicht durch Auflösung mesozoischer Evaporite erklärt werden. In diesen sind nämlich, wie der Chemismus der autochthonen Grundwässer (vor allem der Gipswässer) aus der Trias zeigt, im Bereich des bewegten Grundwassers die chloridischen Salze, falls sie jemals vorhanden gewesen sein sollten, bereits weitgehend ausgelaugt. Als alleinige Quelle für diese Chlorid-Gehalte kommen daher nur die Evaporite des Zechsteins in Betracht. In einem Fall (Meßstelle 20) konnte die Zechsteinherkunft des Sulfat-Gehaltes durch eine Schwefel-Isotopenbestimmung (siehe Abschn. III. 5) nachgewiesen werden. Weitere Proben ähnlicher Wässer sind noch in Bearbeitung. Die Meßergebnisse lagen bei Abschluß dieser Arbeit noch nicht vor. Es ist zu erwarten, daß die Ergebnisse in einigen Fällen Hinweise für eine Zechsteinherkunft liefern werden.

Betrachtet man die räumliche Verteilung dieser Wässer auf der hydrochemischen Karte (siehe Anlage) so stellt man eine Häufung chloridischer Mineralwässer im Bereich um Groß Denkte fest. Sie treten vor allem an einer quer zur Strukturachse verlaufenden Abschiebung zwischen Groß Denkte und dem Falkenheim als Quellen zu Tage. Diese Störung reicht bis an das wasser- und salzlauge-führende Hutgebirge des Zechsteinsalzes. Auch nordöstlich Wittmar

sind zwei durch Bohrungen im Keuper erschlossene Chloridwässer (Meßstelle 12 und Probenahmestelle Wi 2) in Beziehung zu Querstörungen zu bringen, welche bis an das hier ebenfalls wasserführende Hutgebirge über dem Zechsteinsalz reichen. Die in den Flankengesteinen des Assesattels gelegenen Austritts- bzw. Erschließungsorte dieser Wässer befinden sich durchschnittlich in 500 bis 700 m Entfernung zum Zechsteinsalz.

Nicht unmittelbar mit Störungen in Verbindung zu bringen sind weitere Chloridwässer die im Talalluvium der Altenau durch Flachbohrungen erschlossen sind. Ein indirekter Einfluß von Kluft- und Störungszonen welche aus der Asse stammende versalzene Wässer in die Sande und Kiese des Altenaualluviums einspeisen ist jedoch wahrscheinlich.

Die aus dem Gipshut stammenden migrierten Zechsteinwässer durchfließen bis zu ihrem Austrittsort stets auch süßwasserführende Flankengesteine der Trias (Muschelkalk, Buntsandstein). Sie sind daher einer Veränderung ihrer chemischen Ausgangszusammensetzung und auch des absoluten Gehaltes an gelösten Stoffen durch Mischung mit Wässern geringeren Mineralgehaltes und anderer Zusammensetzung unterworfen. Nimmt man etwa eine Anfangszusammensetzung des migrierenden Wassers entsprechend einer NaCl-Sole an und vernachlässigt man mögliche Reaktionen mit dem Nebengestein, so würde sich bei Mischung mit einem Flankengesteinswasser eine Verdünnung des Lösungsinhaltes und der Konzentration der meisten Einzelbestandteile ergeben. Zu berücksichtigen sind hierbei noch Änderungen in der chemischen Zusammensetzung der Mischungskomponenten und Änderungen im Mischungsverhältnis, die gewisse zeitliche Variationen im Chemismus der resultierenden Wässer verursachen könnten. Durch Beobachtung der zeitlichen Schwankungen im Chemismus eines migrierten Wassers, des Ganges seiner Temperatur und der Ergiebigkeit lassen sich Änderungen in den Mischungsbedingungen abschätzen.

Hydrochemische Reihenanalysen zeigen, daß die meisten allochthonen Wässer in einem Untersuchungszeitraum von vier Jahren (1966 bis 1970) jedoch nur äußerst geringfügige Schwankungen des Verhältnisses der gelösten Ionen zueinander und des Gesamtlösungsinhaltes aufweisen (siehe Abschn. III 4.5). Die

Mischungsbedingungen sind also in diesem relativ kurzen Zeitraum weitgehend gleich geblieben. Über längere Zeiträume hinweg könnte sich jedoch durch Anzapfung neuer leistungsfähiger Klüfte bzw. durch den Verlust bestehender Wasserbahnen der Zufluß aufsteigenden Salzwassers aus dem Zechsteinablaugungsbereich in die Süßwasser führenden Flankengesteine ändern und damit auch die Mischungsbedingungen. Auch klimatische Änderungen die über den Niederschlag bzw. die Versickerungsrate auf die Höhenlage der Grundwasseroberfläche im Hutgebirge einwirken, könnten den hydrostatischen Druck, die Triebkraft des Salzwasseraufstieges im Bereich um Groß Denkte (siehe Abschn. III. 6.1.1), geringfügig verändern und mit ihm den Salzwasserzufluß.

Betrachten wir nun die chemische Zusammensetzung und Eigenschaften der allochthonen Grundwässer im einzelnen; dem Anionen-Typ nach sind sie als Chlorid-Wässer mit unterschiedlichen Anteilen von Sulfat und Hydrogenkarbonat zu charakterisieren. Sie lassen sich aufgrund der Kationenanteile in zwei Gruppen untergliedern; in die Gruppe I (NaCl-Wässer) und in die Gruppe II (CaCl₂-haltige Wässer):

Gruppe I: Na - Cl - Wässer

Na - Ca - Cl - Wässer

Na - Ca - Cl - SO₄ - Wässer

Na - Ca - Cl - HCO₃ - Wässer

Gruppe II: Ca - Cl - SO₄ - Wässer

Ca - Na - Cl - SO₄ - Wässer

Ca - Na - Cl - HCO₃ - SO₄ - Wässer

Zur ersten Gruppe gehören alle unmittelbar um Groß Denkte auftretenden chloridischen Mineralwässer (Meßstellen 16, 17₁, 17₂, 20, 27) und das Wasser aus einer Bohrung bei Wittmar (Probenahmestelle Wi 2). Das Kalzium ist hier vollständig und ohne Überschuß dem HCO₃⁻- und SO₄²⁻-Anteil äquivalent.

Die Wässer der zweiten Gruppe enthalten wechselnde Mengen Erdalkalichlorid. Der NaCl-Anteil überwiegt jedoch meist. Sie verteilen sich auf einzelne Vorkommen bei Wendessen, Klein Denkte, Wittmar und Remlingen (Meßstellen 12, 60; Probenahmestellen BR 1, We 9, We 10, We 12, KD 1). Leider handelt es sich oft-

mals nur um ältere Analysen bei denen in einigen Fällen die genaue Lage des Erschließungsortes und bei Bohrungen das Schichtenprofil nicht mehr anzugeben sind.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich, wie bereits erwähnt, außer durch ihren Chemismus auch durch ihre räumliche Verteilung. NaCl-Wässer treten bevorzugt in unmittelbarer Nähe des Salzstockes von Groß Denkte auf, der sich im Vergleich zur übrigen Asse durch eine relativ hohe Lage des Salzspiegels auszeichnet.

Die Vorkommen Erdalkalischlorid-haltiger Wässer sind sporadisch auf den Südflügel der Asse und die Talsedimente der Altenau bei Wendessen und Klein Denkte verteilt. Sie wurden meist in größerem Abstand zum Salzkörper bzw. Gipshut beobachtet als die reinen NaCl-Wässer der ersten Gruppe (siehe hydrochemische Karte).

Im Gesamtsalzgehalt ergeben sich zwischen den beiden Gruppen keine wesentlichen Unterschiede; er bewegt sich von etwa 1200 mg/l - also knapp über dem Minimalwert für Mineralwässer - bis etwa 6000 mg/l (40 - 130 mval/l). Das entspricht Chlorid-Werten von 285 mg/l - 2404 mg/l (8,04 - 67,5 mval/l). Das Äquivalentverhältnis von Natrium zu Kalium schwankt in den Grenzen 13 - 106 (meist größer als 50), wobei höhere Verhältniszahlen auch höheren Chloridkonzentrationen entsprechen. Absolut gesehen ist bis zu 15,9 mg/l Kalium gelöst, also nur etwa doppelt soviel wie in den chloridarmen Wässern der Asse. Die Sulfatwerte (142 - 543 mg/l, ausnahmsweise bis 730 mg/l) liegen oftmals nur leicht über dem Durchschnittsgehalt der süßen Wässer (ca. 200 mg/l).

Grundsätzlich ähnlich verhält es sich mit dem Hydrogenkarbonatanteil. Mit 311 - 414 mg/l (5,09 - 6,79 mval/l) zeigt er keine außergewöhnlichen Abweichungen von der durchschnittlichen Schwankungsbreite aller Grundwässer an der Asse. Die Erdalkaliumsumme beträgt in diesen Wässern zwischen 10,4 und 23,6 mval/l. Die Höhe des an Chlorid gebundenen Anteils der Erdalkalien ist ein Kriterium für die Zuordnung eines Wassers zur Gruppe I (NaCl-Wässer) oder Gruppe II (CaCl_2 -haltige Wässer). Sind weniger als 1 mval/l Erdalkali an Chlorid gebunden so liegen diese

Tab. 15: Erdalkalichlorid-Gehalte der allochthonen Grundwässer an der Asse

Analyse	Gesamt- salzgeh. (mg/l)	Erdalkalichlorid als CaCl_2 ber.			Ealk.Chlorid in % vom Gesamtchlorid	Chlorid (mg/l)	$\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ Äqu. Verh.
		mmol/l	mg/l	% vom Gesamt- salzgeh.			
1/7	4139	16,8	931	22,6	30,4	1960	1,8
12/6	1336	3,86	214	16,0	46,0	285	2,5
16/6	2960	1,07	58	1,9	2,8	1356	2,4
17 ₁ /7	2174	0,23	13	0,6	1,3	607	3,4
17 ₂ /5	2607	1,06	58	2,2	3,8	982	3,1
20/1	4033	3,85	213	4,9	7,8	1757	2,8
20/6	1819	0	0	0	0	525	2,8
27/6	1627	0,62	43	2,0	4,0	542	1,4
BR 2	1434	8,2	456	31,8	65,5	446	2,7
Wi 2	2126	0	0	0	0	794	1,5
We 9	2213	9,3	516	23,2	39,4	840	3,6
We 12	4768	15,8	876	18,4	24,8	2275	1,35
We 10	1258	6,1	338	26,8	68,5	316	2,1

Werte innerhalb bzw. so nahe am Analysenfehlerbereich, daß man ein Wasser aufgrund so geringer Erdalkalichlorid-Gehalte der Gruppe II nicht zuordnen kann. Tab. 15 gibt einen Überblick über die absoluten und prozentualen Anteile an Erdalkalichlorid bei den alllichthonen Grundwässern. Mit Ausnahme des Wassers der Meßstelle 20 (das nur zeitweise bis 3,85 mmol/l Erdalkalichlorid führte) enthalten alle der Gruppe I angehörenden Wässer nur zwischen 0 - 3,8 % am Erdalkalien gebundenes Chlorid. Im Verhältnis zum jeweiligen Gesamtsalzgehalt sind diese Mengen noch unerheblicher (max. 2,2 % CaCl_2 am Gesamtsalzgehalt). Anders ist es bei den Erdalkalichlorid-haltigen Wässern der Gruppe II. 3 - 16,8 mmol/l Erdalkalichlorid (= 166 - 931 mg CaCl_2 /l) entsprechen je nach Chlorid-Gehalt zwischen 24,8 % (We 12) und 68,5 % (We 10) an Erdalkalien gebundenes Chlorid. Im Vergleich mit der Gesamtmineralisation (1258 - 4768 mg/l) ergibt das immerhin noch 10,9 % - 31,8 % Erdalkalichlorid. Inwieweit die hohe Chloridhärte durch MgCl_2 bedingt ist kann durch einen Vergleich der Magnesiumkonzentration des Ca/Mg-Verhältnisses und des Cl/SO_4 -Verhältnisses (bzw. des Sulfatgehaltes) entschieden werden.

Die Magnesium-Gehalte liegen mit 25,6 mg/l - 62,6 mg/l (2,1 - 5,2 mval/l) fast durchweg in einem für die Asse normalen Schwankungsbereich. Ausnahmen bilden die Analysen 1/7 (10 mval/l) und We 12 (13,8 mval/l) bei gleichzeitig hohem Erdalkalichlorid-Gehalt (16,8 bzw. 15,8 mmol/l) niederem $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis (1,8 bzw. 1,4) und einem $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{--}$ -Verhältnis von 9,2 bzw. 5,9 (Sulfat-Gehalt = 483 mg/l = 10 mval/l bzw. 231 mg/l = 4,8 mval/l). Nimmt man einen Anteil von 50 % Mg^{++} an der Karbonathärte an (entsprechend der Zusammensetzung eines reinen Dolomites) so verbleiben noch 14 mval/l bzw. 13 mval/l Magnesium an Chlorid gebunden. Das ergibt einen MgCl_2 -Gehalt von 349 mg/l (Analyse 1/7) bzw. 524 mg/l (Analyse We 12) oder 32,6 % bzw. 59,7 % der Erdalkalichloridgeamtmenge.

Bei allen übrigen Wässern der Gruppe II ist, unter der oben gemachten Annahme, weniger als 1 mval Mg^{++} /l an Chlorid gebunden.

Tab. 16: Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer an der Asse

analyse	Gesamt- salzgeh. (mg/l)	Cl ⁻ mg/l mval/l	Na ⁺ mg/l mval/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l mval/l	HCO ₃ ⁻ mg/l mval/l	Ca ⁺⁺ mg/l mval/l	Mg ⁺⁺ mg/l mval/l
1/6	4139	1144 32,3	420 18,3	169 3,52	337 5,52	327 16,3	89,4 7,35
12/6	1336	285 8,04	98 4,26	252 5,24	377 6,18	219 10,9	52,9 4,35
16/6	2960	1356 38,2	845 36,8	179 3,73	345 5,65	147 7,35	37,7 3,1
17 ₁ /7	2174	607 17,1	370 16,09	543 11,3	311 5,09	257 12,83	46,2 3,79
17 ₂ /5	2607	982 27,7	600 26,09	405 8,43	317 5,19	223 11,13	43,2 3,55
20/1	4033	1757 49,5	1045 45,45	491 10,22	352 5,77	294 14,69	62,6 5,15
20/6	1819	525 14,8	343 14,9	290 6,04	393 6,44	184 9,2	40,1 3,3
27/6	1627	542 15,3	340 14,8	142 2,95	392 6,42	115 5,75	51,7 4,25
60/7	1370	290 8,18	120 5,2	274 5,7	378 6,19	206 10,28	56,0 4,6
Wi 2	2126	794 22,35	Na+K: 26,03	238 4,95	390 6,39	97 4,6	37,3 3,06
We 9	2213	840 23,6	Na+K: 14,36	315 6,55	336 5,5	334 16,7	56,0 4,59
We 12	4768	2275 63,8	Na+K: 47,04	523 10,9	349 5,71	372 18,6	169,0 13,8

Analysen über die akzessorischen Bestandteile und die Spurenelemente liegen nur von den Wässern der Gruppe I vor, sodaß ein diesbezüglicher Vergleich mit Gruppe II nicht möglich ist.

Die allochthonen Wässer enthalten zwischen 11,4 und 24,5 mg/l Kieselsäure (ausgedrückt als SiO_2). Dieser relativ hohe Kieselsäuregehalt wird verständlich wenn man bedenkt, daß diese Wässer mit kieselsäurereichen Quarzsandsteinen des Mittleren Buntsandsteins in Kontakt stehen.

Die Strontium-Gehalte schwanken zwischen 0,6 mg/l und 6,6 mg/l und können wohl mit dem Sulfat-Gehalt der Wässer in Zusammenhang gebracht werden, da in Gipsen allgemein ein verstärkter Einbau von Sr^{++} -Ionen festzustellen ist (MÜLLER, German 1962). Extrem hohe Strontium-Gehalte (bis 28,6 mg/l) im Wasser der Meßstelle 20, bei Sulfat-Gehalten von nur 241 - 491 mg/l, sind möglicherweise auf Strontiumminerale (Cölestin, Strontianit) zurückzuführen, die an der Asse z. B. im Gipskeuper durch WOLDSTEDT (1931 a) und HOEHNE (1911) beschrieben sind und auch anderswo vorkommen könnten.

Die Lithium-, Bor- und Brom-Gehalte liegen stets deutlich höher als in den hydrogenkarbonatischen Süßwässern. Für Lithium wurden Gehalte von 0,025 - 0,070 mg/l festgestellt (Mittelwert: 0,051 mg/l). Die Lithium-Gehalte in den allochthonen Wässern sind also niedriger als bei den Gipskarstwässern (Mittelwert: 0,102 mg/l).

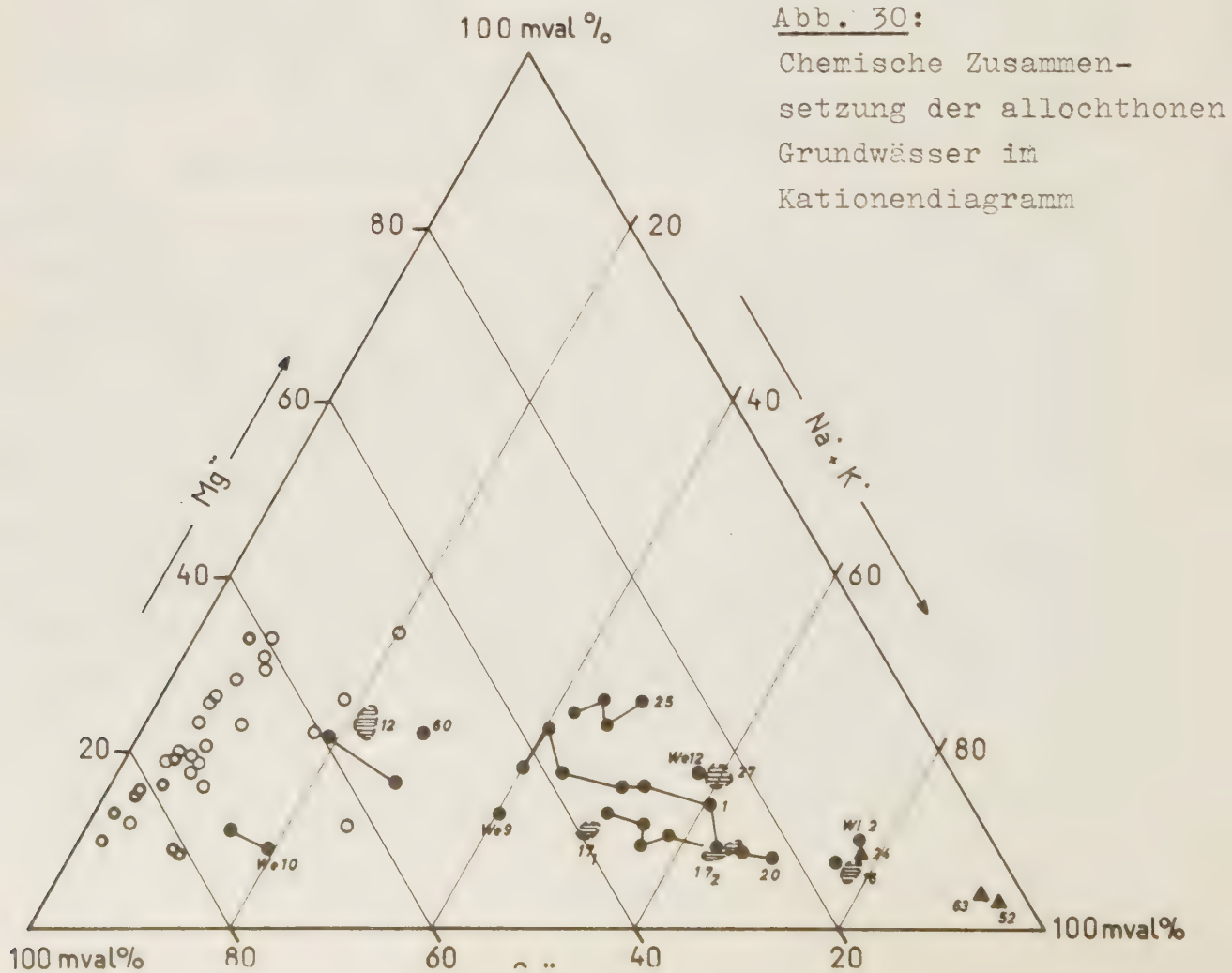
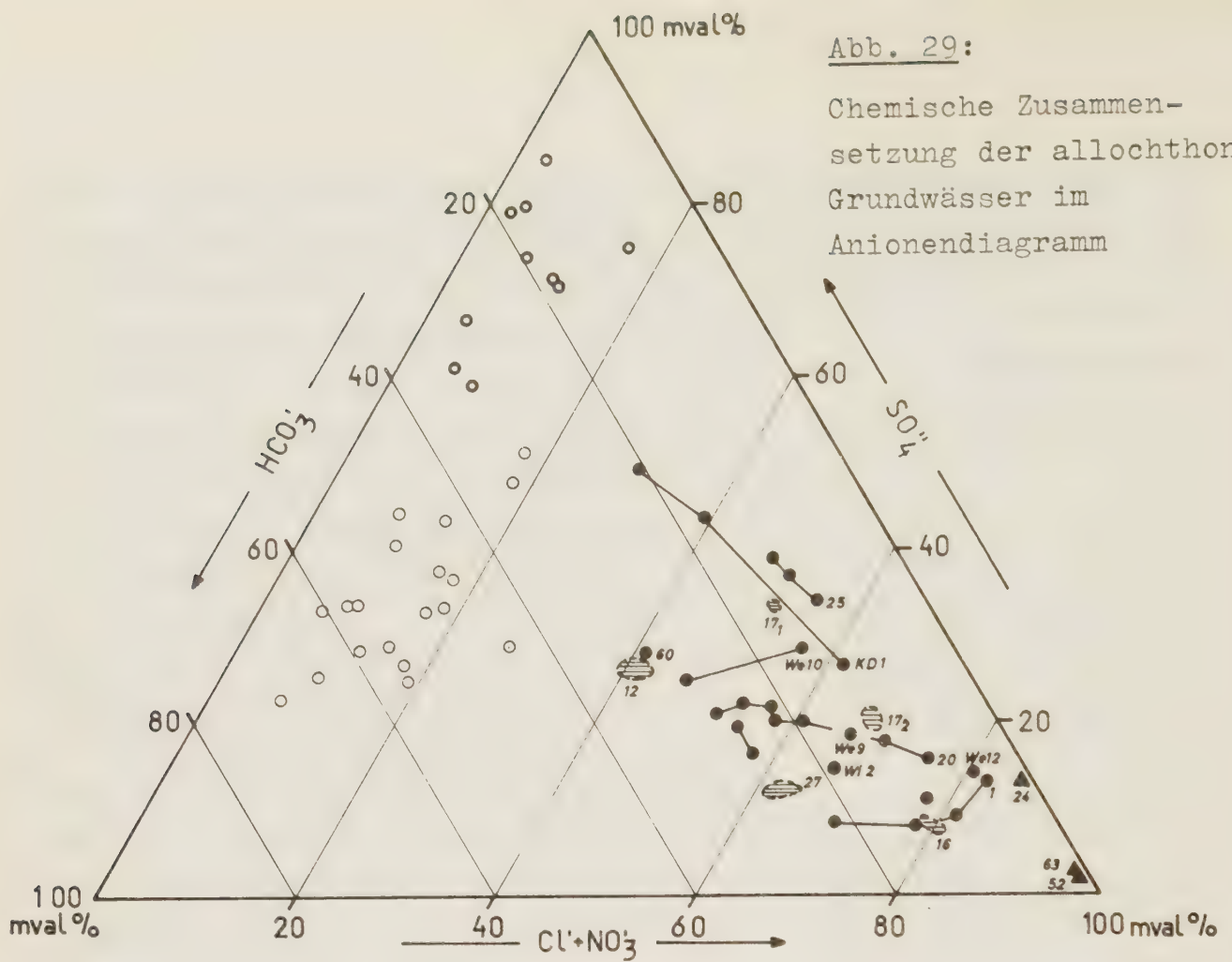
Borsäure (0,15 - 0,35 mg HBO_2 /l; Mittelwert: 0,23 mg/l) ist, wie aufgrund der relativen Borarmut der Zechsteinsolen (0,9 - 5,3 mg HBO_2 /l) auch zu erwarten war, nur wenig vorhanden. Die Werte liegen wie beim Lithium noch unter dem Durchschnitt der Gipskarstwässer (0,19 - 0,54 mg HBO_2 /l; Mittelwert: 0,39 mg/l) und betragen etwa das 1,5 bis 3,5-fache der Gehalte in den Süßwässern.

Der Brom-Gehalt (0,4 - 3,7 mg Br^- /l; Mittelwert: 1,5 mg/l) ist demgegenüber deutlich höher als in den Gipswässern (Mittelwert: 0,25 mg/l) und in den Hydrogenkarbonatwässern; er steigt mit dem Chlorid-Gehalt.

Welche chemische Beziehungen bestehen nun zwischen diesen hochmineralisierten allochthonen Wässern, den Zechsteinsolen und den autochthonen Süß- und Mineralwässern der triassischen Flankengesteine? Welche genetische Verwandtschaft haben sie untereinander?

Zur Aufhellung dieser Zusammenhänge wurde die auf Seite 64 beschriebene Diagrammkombination gewählt (Abb. 29 - 32). Um CaHCO_3^- von CaSO_4 -Wässern unterscheiden zu können wurde zusätzlich ein 4-Stoff-Diagramm beigelegt, welches, wie für die Darstellung von Süßwässern allgemein üblich, die Summe aus $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ dem HCO_3^- -Anteil gegenüberstellt (Abb. 31). Waren von einem Wasser mehrere Analysen verfügbar, so wurden sie alle um die Repräsentanz einer Einzelanalyse überprüfen zu können, zur Darstellung gebracht und die zugehörigen Analysenpunkte mit Strichen verbunden. Bei geringer Streuung wurden zugehörige Analysen zu Belegungsfeldern zusammengefaßt. Zum Vergleich sind die schichtgebundenen HCO_3^- und SO_4 -Wässer als leere Kreise dargestellt; sie belegen ein enges Areal, welches durch die Linien 20 % $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$ und 20 % $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ umgrenzt wird. Einige Analysenpunkte überschreiten diese Begrenzung in Richtung höherer Alkali-Gehalte und sind daher leicht Alkalihydrogenkarbonat-haltig.

Betrachtet man die Verteilung der allochthonen Wässer (ausgefüllte Kreise) auf Abb. 32, so fällt auf, daß sich viele Analysen (und zwar ausschließlich die der Gruppe I) streifenförmig zwischen den Eckpunkten 100 mval % (Ca, Mg) (SO_4/HCO_3) einerseits und 100 mval % (Na, K) Cl andererseits anordnen, wie es für Wässer ohne Ca, MgCl_2 - bzw. $\text{Na}(\text{HCO}_3/\text{SO}_4)$ -Gehalt zu erwarten ist. Die übrigen Analysenpunkte streuen über die obere Hälfte des Diagramms und sind, da NO_3^- nur in geringen Mengen in diesen Wässern enthalten ist, durch mehr oder minder hohe äquivalentprozentuale Anteile an Erdalkalichloriden gekennzeichnet. Dieses unterschiedliche Verteilungsbild, einerseits NaCl - bzw. $\text{Ca}(\text{HCO}_3/\text{SO}_4)$ -Wässer andererseits CaCl_2 -haltige Wässer, belegt nochmals die oben durchgeführte Unterteilung der allochthonen Wässer in zwei Gruppen, entsprechend ihres CaCl_2 -Gehaltes. Die Abb. 31 gibt eine differenziertere Darstellung der CaSO_4 -



und CaHCO_3 -Anteile, sodaß sich hier die Deckgebirgswässer in zwei gut umgrenzbare Felder aufspalten.

Die allochthonen Wässer, deren streng zonare Anordnung (Abb. 32) verloren gegangen scheint, bewegen sich, sieht man von den in Verbindung mit Abb. 32 identifizierbaren Erdalkalichloridwässern ab, in Abb. 31 doch innerhalb eines Streifens von der Breite des Belegungsfeldes der HCO_3 -Wässer von den Solwässern (Meßstellen 24, 63, 52) weg auf die HCO_3 -Wässer zu.

Wie kann man nun diese Verteilung der Analysenpunkte der allochthonen Grundwässer im Diagramm der Abb. 31 deuten?

Die Analysenpunkte zweier Wässer unterschiedlicher Zusammensetzung und ihre Mischungsprodukte liegen im Konzentrationsdiagramm auf einer Geraden (PIPER 1944, in: HEM 1959 S.183). Diese Aufreihung ist jedoch nur formal; aus ihr dürfen wir nicht ohne weiteres genetische Aussagen ableiten. Analysen welche im Diagramm auf einer Geraden zu liegen kommen, können überdies in Wirklichkeit nur dann zu einer gemeinsamen Mischungsreihe gehören, wenn auch ihre Konzentrationsverhältnisse (Gesamtsalzgehalt, Ionenkonzentration) entsprechende Zusammenhänge aufweisen. Angewandt auf die vorliegenden Verhältnisse würde das bedeuten, daß die hier zur Diskussion stehenden chloridischen Mischwässer aus einer Mischung von NaCl-Solen (bzw. NaCl-Wässern höherer Mineralisation) mit CaHCO_3 - bzw. $\text{Ca}(\text{HCO}_3, \text{SO}_4)$ -Wässern hervorgegangen sein können. Die Berechtigung dieser Behauptung läßt sich durch Berechnung des Mischungsverhältnisses überprüfen. Wir nehmen eine Mischungsreihe der Wässer A - Ab - B an, wobei A das Ausgangswasser höherer Konzentration, B das Ausgangswasser niedriger Konzentration und AB das resultierende Mischwasser darstellt.

Es errechnet sich nach folgender Mischungsgleichung

$$\frac{C_A - C_{AB}}{C_{AB} - C_B} = X$$

X = Verdünnungsvolumen
in Litern

C_A, C_B, C_{AB} = Konzentrationen
in mg/l

das Verdünnungsvolumen, d.h. die Anzahl der Volumeneinheiten des Wassers niedriger Konzentration pro Volumeneinheit des

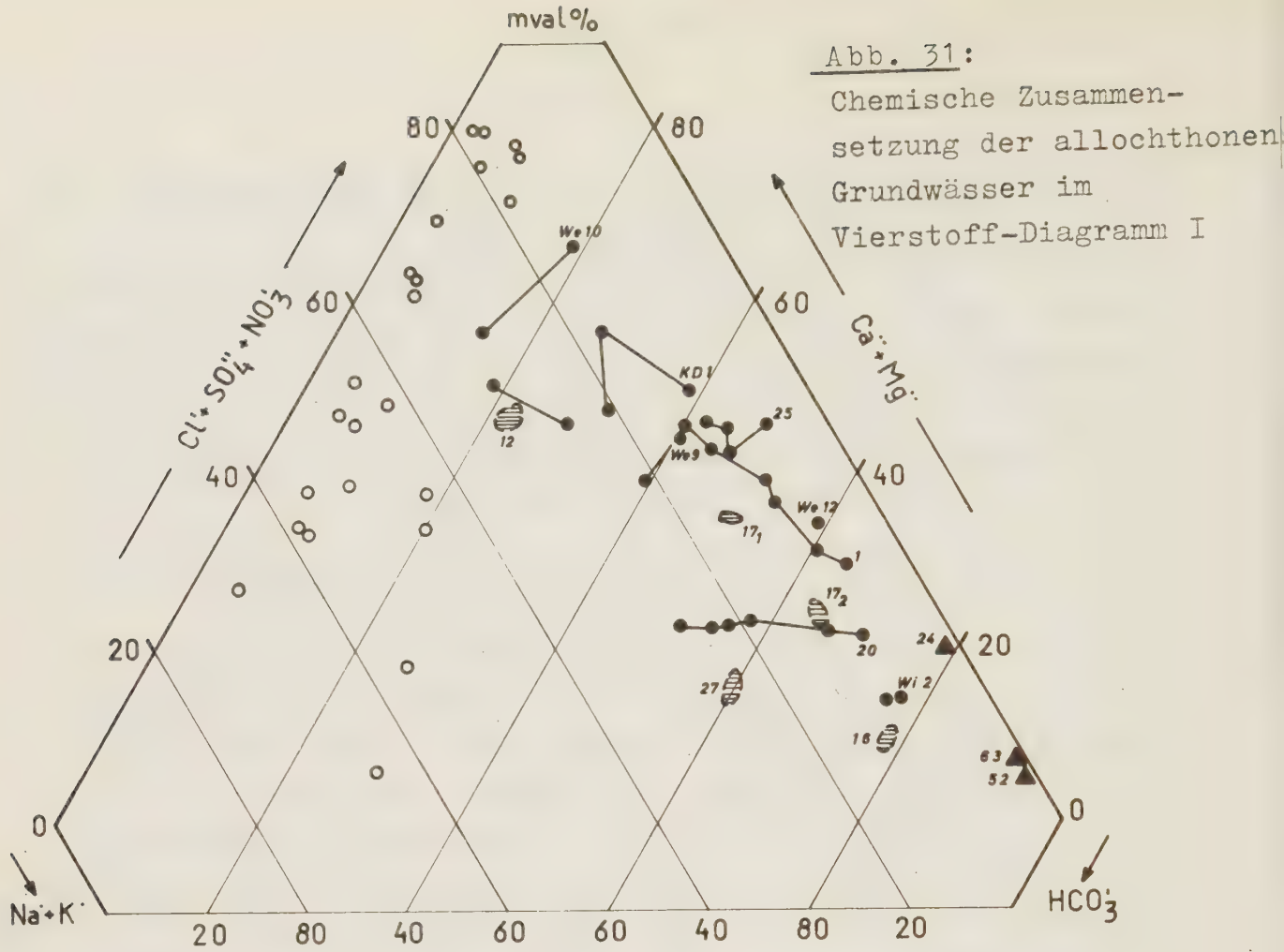
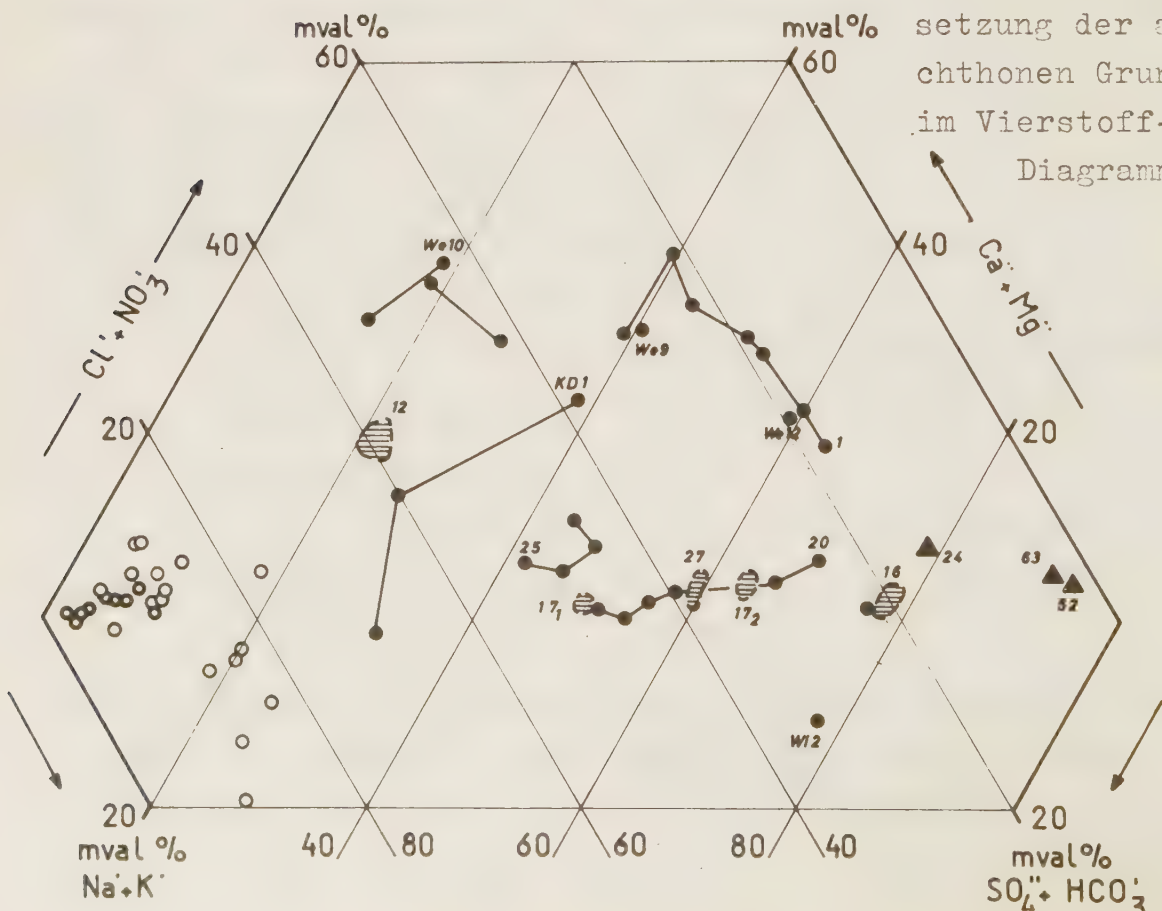


Abb. 32:

Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer im Vierstoff-Diagramm II



Wassers höherer Konzentration.

Eine erste grobe Überprüfung ergibt sich aus der Beziehung $C_A > C_{AB} > C_B$. Setzt man die Konzentrationen verschiedener Ionen bzw. des Gesamtsalzgehaltes in obige Mischungsgleichung ein, so müssen, wenn zwischen den reinen Ausgangsgliedern tatsächlich eine Mischung stattgefunden hat, jeweils gleiche oder doch sehr ähnliche Verdünnungsvolumina resultieren. Auf diese Weise lassen sich einige aus den Diagrammen ersichtliche mögliche Mischungsreihen z. B. diejenigen der Wässer der Meßstellen 52 - 16 - 13 und 24 - 17₂ - 26 bestätigen. Es ist also möglich, daß die Wässer der Meßstellen 16 und 17₂ durch Mischung von NaCl-Wässern höherer Konzentration mit Süßwässern aus dem Muschelkalk bzw. Buntsandstein entstanden sind. Natürlich lassen sich derartige Rechnungen nur mit Ionen durchführen, welche nicht mit dem durchflossenen Gestein in Wechselwirkung treten (Kationenaustausch, Adsorption) und auch keiner durch Reduktions-Oxidations-Vorgänge hervorgerufenen Konzentrationsänderung unterliegen. Schließlich ist noch zu bedenken, daß die Analysen der in Rechnung gesetzten Wässer repräsentative Einzelanalysen für einen bestimmten Grundwassertyp darstellen. Sie können nicht die Variationen in der chemischen Zusammensetzung des jeweiligen Wassertyps berücksichtigen. Es stehen also Ergebnisse die verschiedene Verdünnungsvolumina aufzeigen, soweit sie sich im Rahmen der chemischen Varianz der beteiligten Grundwassertypen bewegen, nicht im Widerspruch zu unserer Annahme einer Mischung von Zechsteinsolen mit niedrig mineralisierten Chlorid-armen, autochthonen Wässern.

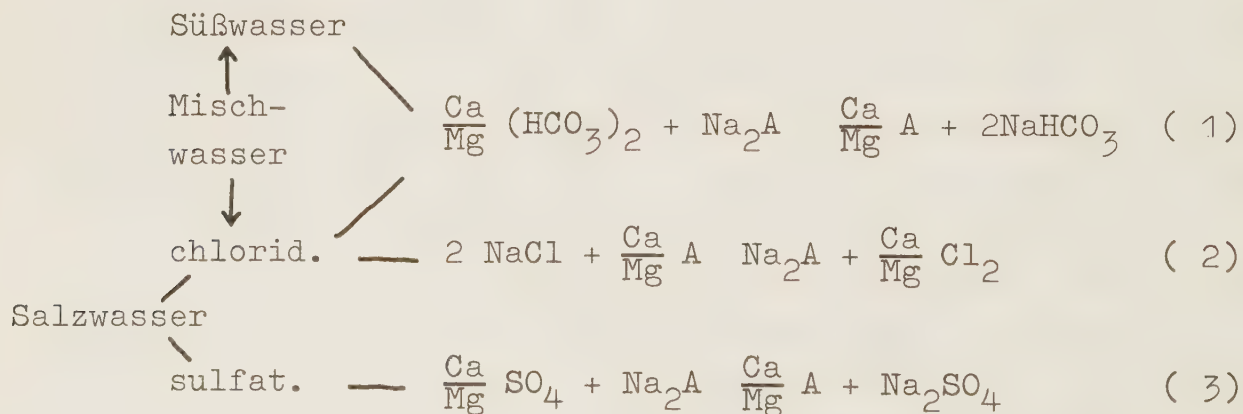
Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die NaCl-Wässer im mesozoischen Deckgebirge, wie sie bei Groß Denkte vorkommen, aus konzentrierten Zechsteinwässern durch Mischung mit hydrogenkarbonatischen bzw. hydrogenkarbonatisch-sulfatischen Wässern aus dem Deckgebirge entstanden sind. Die hydrochemischen Befunde stützen diese Auffassung in jedem Falle.

Die obige Annahme ist jedoch für die Wässer der Gruppe II (Erdalkalichlorid-haltige Wässer) nur bedingt möglich. Ihre hohen, fast ausschließlich auf CaCl_2 zurückzuführenden Chloridhärten lassen sich nicht durch einfache Verdünnung der Zechsteinsolen erklären, da diese nur zwischen 3,5 % und 6,4 % Erdalkalichlo-

rid, überwiegend als MgCl_2 , enthalten. Es müssen offenbar noch andere Vorgänge den hohen CaCl_2 -Anteil dieser Wässer bedingt haben. In diesem Zusammenhang ist es auffallend, daß diese Wässer meist in größerer Entfernung vom Salzkörper auftreten als die reinen NaCl -Wässer. Als Erklärung für die hohen CaCl_2 -Anteile dieser Wässer wären Wechselwirkungen mit den durchflossenen Grundwasserleitern denkbar wie sie als Ionenaustauschvorgänge bekannt sind (SCHWILLE 1956, 1957; LÖHNERT 1967 a; HECHT 1964 u. a.). Da ionenaustauschende Vorgänge in Bereichen wo Süßwasser mit Salzwasser in Kontakt kommt häufig stattfinden und aus dem benachbarten Elm ebenfalls Austauschwässer bekannt sind, soll hier auf diese Erscheinung noch näher eingegangen werden.

4.4.3 Austauschwässer

Nach SCHWILLE (1954), SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL (1969) u. a. besitzen eine Reihe von gesteinsbildenden Mineralen kationenaustauschende Eigenschaften. Hierzu gehören vor allem die Tonminerale, Glimmer und glimmerähnliche Minerale, Glaukonit und Feldspäte, die allgemein als natürliche Permutite bezeichnet werden. Voraussetzung für Austauschvorgänge ist (SCHWILLE 1954) das Nebeneinander von süßem und versalzenem Grundwasser. Ein Schema zur Veranschaulichung der Bildung von Austauschwässern aus Süß- und Salzwasser gibt LÖHNERT (1967, S. 117):



(A = Austauschmasse)

Beim Durchwandern austauschfähiger Gesteine kann sich das Gleichgewicht ganz auf die rechte Seite der Gleichungen verschieben. Derartige Vorgänge laufen nach SCHWILLE (1956) in kurzer Zeit ab, wobei die Festigkeit der Bindung an den Austauscher bei den meisten Mineralen in der Reihe Li, Na, H, K, Mg, Ca, Sr, Ba von links nach rechts zunimmt. Für das Grundwasser an der Asse ist vor allem die Reaktionsgleichung (2) von Bedeutung. Aus der Einwirkung von NaCl-Wässern auf Gesteine deren Austauschminerale bereits durch Ca^{2+} - bzw. Mg^{2+} - Ionen belegt sind können CaCl_2 -haltige Wässer resultieren. Nach SCHWILLE (1956) können dabei Mergel und kalkhaltige Tone als Austauscher dienen. Um solche Regenerationsvorgänge (LÖHNERT 1967) könnte es sich auch bei den Erdalkalichlorid-Wässern der Asse handeln. Charakteristisch für solche Wässer ist die Aufhärtung und der hohe Chlorid-Gehalt.

Vom nordöstlichen Harzrand bei Thale sind ebenfalls derartige CaCl_2 -Wässer beschrieben (HALLER u. MESTWERDT 1937, GIESSLER 1957, DIENEMANN u. FRICKE 1961), die nach GIESSLER nicht mehr durch Lösung aus Gesteinen zu erklären sind. Er bezeichnet diese CaCl_2 -Wässer als sekundäre Mineralwasserbildungen. Auch bei Thale sind Zechsteinsalze im Untergrund vorhanden. Die Austritts-orte dieser Wässer liegen an Störungen.

Weitaus besser bekannt als diese Regenerationsvorgänge sind die Austauschvorgänge der Gleichungen (1) und (3), die ausgehend von einem mit Na^+ -Ionen belegtem Austauscher durch Einwirkung von $(\text{Ca},\text{Mg})(\text{HCO}_3)_2$ - bzw. $(\text{Ca},\text{Mg})\text{SO}_4$ -Wässern die Bildung von NaHCO_3 -Wässern bzw. von Na_2SO_4 -Wässern bewirken. Voraussetzung dafür ist das Vorkommen von NaCl-Wässern im tieferen Untergrund.

NaHCO_3 -Wässer treten im östlichen Elm bei Warberg (Probenahmestellen Wa 1, Wa 8, Wa 11), Wobeck (Probenahmestellen Wb 2, Wb 3) und Schönigen (Probenahmestelle Sö 10) hauptsächlich im Oberen Muschelkalk auf. Zum Teil handelt es sich um über Tage ausfließende Wässer (Spaltenquellen, Arteser). Ihre NaHCO_3 -Gehalte bewegen sich zwischen 125 mg/l und 600 mg/l. Die Chlorid-Gehalte sind gering (11 - 36 mg/l).

Die Karbonathärten sind, entsprechend der beim Umtausch "frei" werdenden und weitere HCO_3^- -Lösung hervorruhenden Kohlensäure recht hoch ($19,9 - 24,9^\circ \text{ dH}$). Die aufgrund der unterschiedlichen Austauschbereitschaft von Ca^{2+} und Mg^{2+} zu erwartende Magnesiumanreicherung ist nicht immer gegeben.

HECHT (1964) beschreibt aus dem Thüringer Becken eine Reihe von NaHCO_3 -Wässern ($30 - 879 \text{ mg NaHCO}_3/\text{l}$) mit wechselndem Chloridgehalt ($16 - 900 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$) und geringer Ergiebigkeit ($0,03 - 0,8 \text{ l/s}$). Die austauschfähigen Mineralien sind dort in Mergeln und Mergeltonen des Unteren Keupers und vor allem des Mittleren Muschelkalks zu suchen.

Auch am Elm dürften in den Mergeln und Mergeltonen des Oberen Muschelkalks die Austauschvorgänge zu lokalisieren sein. Die Ergiebigkeiten der Austauschwässer vom Elm sind nur in einem Fall (Wb 2, artesisch $1,25 \text{ l/s}$) bekannt.

Aus Schöningen (Probenahmestellen Sö 11, Sö 12) und Schöppenstedt (Probenahmestelle Sp 9) sind aus Brunnen (?) im Oberen Muschelkalk und im Rät auch Alkalisulfatwässer bekannt; sie enthalten 256 mg/l (Sp 9), 860 mg/l (Sö 11) und 910 mg/l (Sö 12) Na_2SO_4 . Die nach Gleichung (3) erforderlichen CaSO_4 -Wässer können durch Lösung von Gipsen des Mittleren Muschelkalks und des Mittleren Keupers (Gipskeuper) entstanden sein.

Als austauschfähige Gesteine sind wiederum Mergel und Tone des Oberen Muschelkalks und des Mittleren und Oberen Keupers anzunehmen.

Auch an der Asse wäre theoretisch die Möglichkeit zur Entstehung solcher Austauschwässer gegeben.

Im Wasser der Bohrung Wi 2 läßt sich auch nach den vorliegenden Analysenergebnissen ein Na_2SO_4 -Gehalt von etwa 260 mg/l ($3,7 \text{ mmol/l}$) berechnen. Aus einem Brunnen bei Sottmar (Meßstelle 37) sind ebenfalls geringe Alkalisulfat-Gehalte bekannt ($135 \text{ mg Na}_2\text{SO}_4/\text{l}$).

Daß Austauschwässer an der Asse nicht noch häufiger beobachtet werden liegt wohl darin, daß entsprechend tiefreichende hydrologische Aufschlüsse fehlen.

4.5 Zeitliche Schwankungen im Chemismus der Grundwässer

Bei den Wässern der Meßstellen 1,2,3,6,9,10,12,14,15,16,17₁, 17₂,18,20,21,23,24,26 und 29 war es für einen Zeitabschnitt von einigen Jahren möglich, den Chemismus auf seine Konstanz hin zu überprüfen. Für die Jahre 1966 und 1967 lagen von allen genannten Wässern jeweils 6 Vollanalysen (Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover, Dr. FAUTH) vor. Sie werden ergänzt durch Vollanalysen älteren Datums und durch Teil- und Vollanalysen, Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und durch Chlorid-Bestimmungen aus den Jahren 1968 - 70. In Abb. 34 bis Abb. 37 sind von einer repräsentativen Auswahl von Meßstellen Analysen der Bundesanstalt für Bodenforschung aus den Jahren 1966 - 69 zur Darstellung gebracht. Zur Erläuterung der Darstellungsweise auf diesen Diagrammen sei auf Abschn. III. 4.2 verwiesen. In diesen Abbildungen sind von allen Analysen einer Meßstelle jeweils die minimalen und maximalen Konzentrationswerte der einzelnen Ionen durch Linien verbunden, sodaß sich die Schwankungen im Chemismus eines Wassers durch ein Band unterschiedlicher Breite ausdrücken, welches je nach der chemischen Zusammensetzung des entsprechenden Wassers in einer charakteristischen Form durch das Diagramm verläuft. Gleichen Bandbreiten entsprechen relative (prozentuale) Konzentrationsänderungen.

Bei der Mehrzahl der betrachteten Wässer zeigt sich in den Jahren 1966 bis 1969 eine gute Konstanz der Konzentrationen der gelösten Einzelbestandteile und des Gesamtsalzgehaltes und damit auch der äquivalentprozentualen Zusammenstzung. Die geringen Konzentrationsschwankungen liegen meist über den jeweiligen kalkulierbaren Analysenfehlern. Sie müssen daher zu einem Teil auf natürliche, durch Inhomogenitäten des Grundwasserleiters bedingte Schwankungen zurückzuführen sein. Die Schwankungen der Konzentrationen der Einzelbestandteile und des Gesamtsalzgehaltes betragen bei diesen Wässern meist nicht mehr als 10 % (bezogen auf den jeweiligen Höchstwert) höchstens 20 %, in sehr vielen Fällen jedoch weniger als 10 %.

spez. el. Leitf.
($\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C)

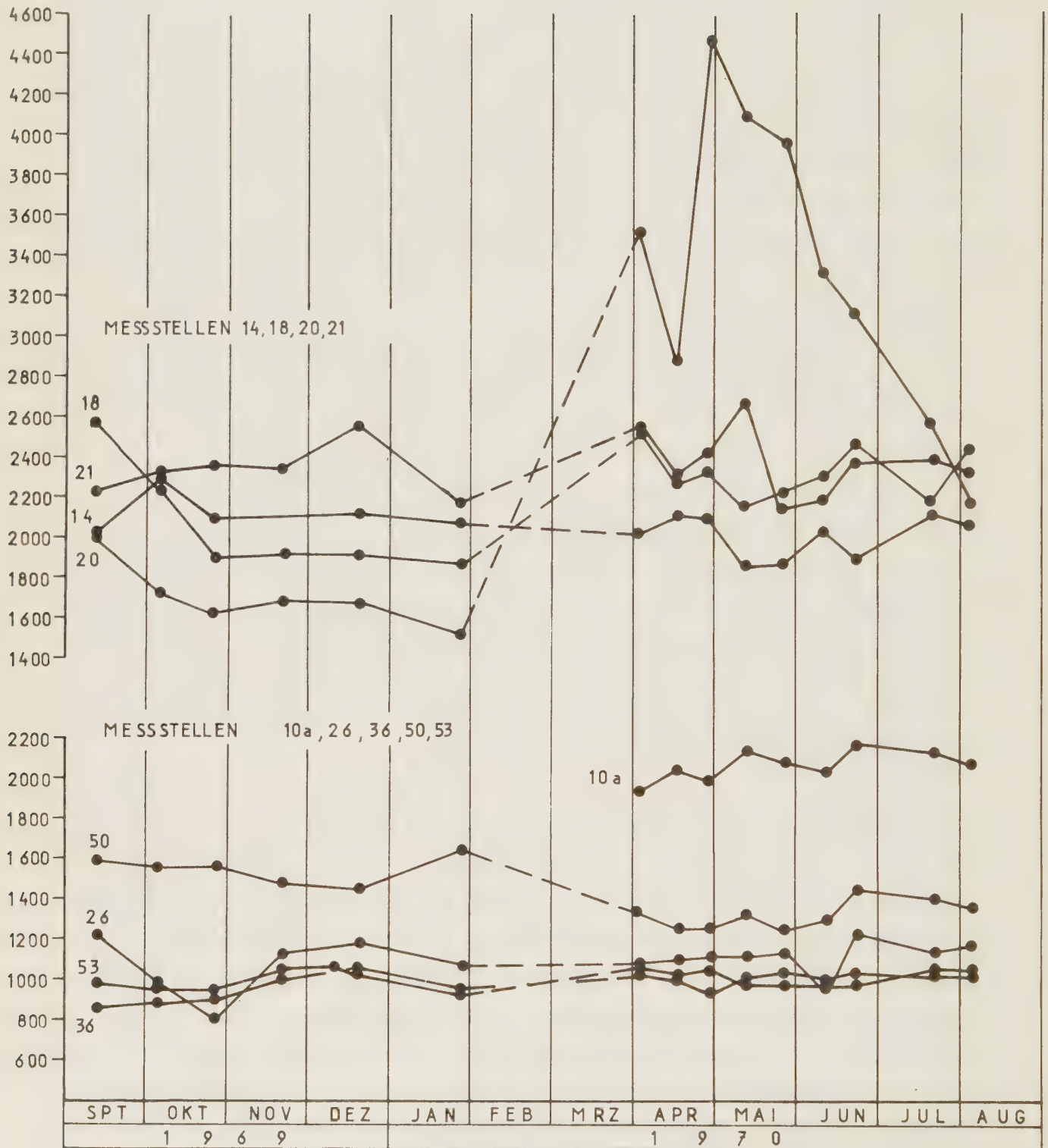


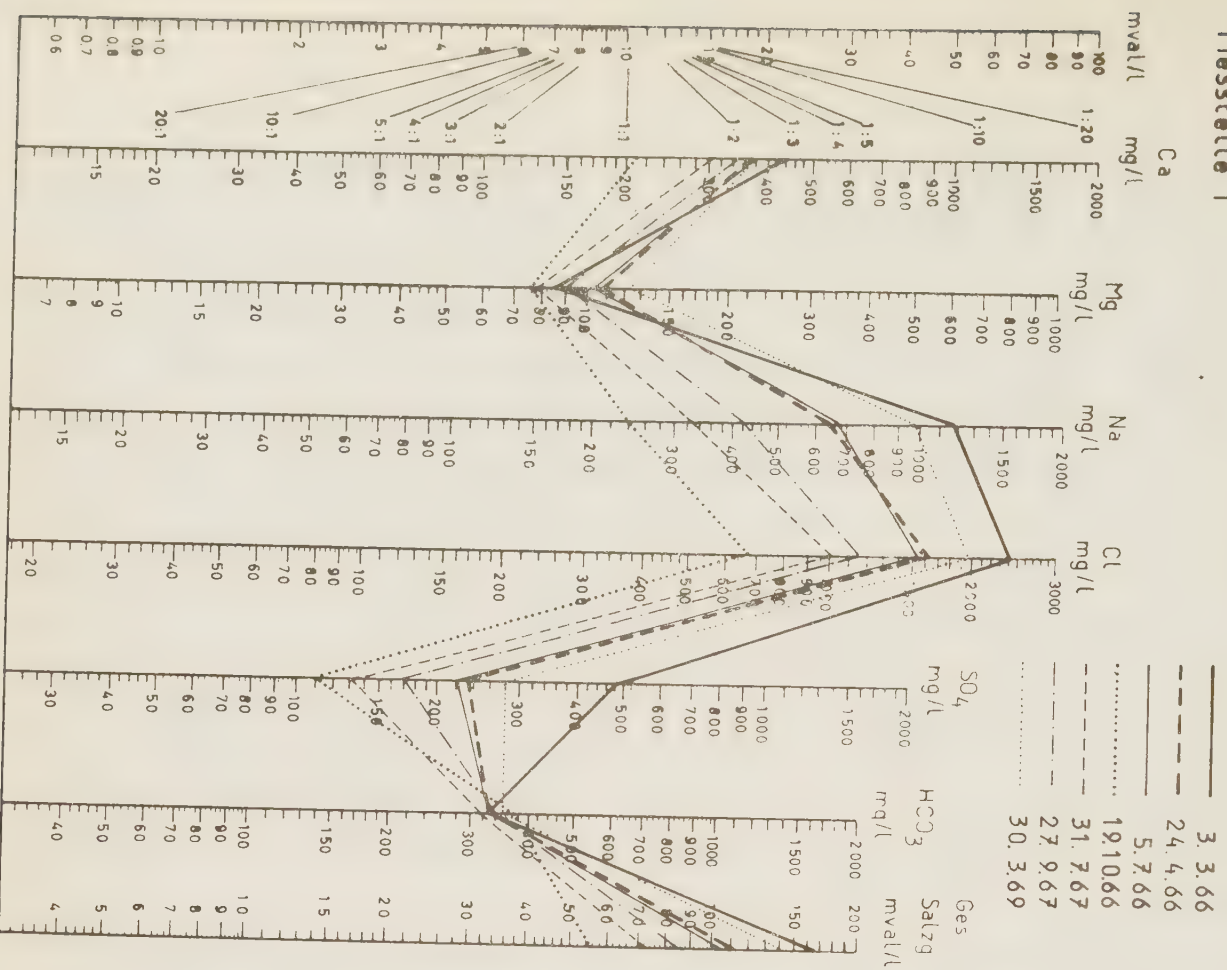
Abb. 33: Gang der spez. el. Leitfähigkeit einiger Grundwässer an der Asse

Ihre Bedeutung nimmt mit fallender Absolutkonzentration ab. Eine Ausnahme bilden niedrige Chlorid-Gehalte, die in einigen Wässern (Meßstellen 3, 15, 18, 21, 23) relativ gesehen stark schwanken, absolut gesehen jedoch nicht in Gewicht fallen. Bemerkenswert ist, daß mit Ausnahme der Meßstelle 20 auch alle betrachteten allochthonen Grundwässer (Meßstellen 16, 17₁, 17₂, 27, 12) in den Jahren 1966/67 in ihrem Chemismus meist nicht wesentlich stärker variieren als die autochthonen Grundwässer. Über einen längeren Zeitraum zeichnen sich jedoch, wenigstens beim Chlorid-Gehalt, größere Schwankungen ab. So zeigt eine der Quellsfassungen von Groß Denkte (Meßstelle 16) in den Jahren 1954 bis 1968 Chlorid-Gehalte zwischen 968 mg/l (28.1.54) und 1520 mg/l (19.12.68). Bei der alten Groß Denkter Quellsfassung (Meßstelle 27), die heute nicht mehr zugänglich ist, betrug der Chlorid-Gehalt zwischen 412 mg/l (28.1.54) und 580 mg/l (11.3.68).

Eine Quelle nördlich Groß Denkte nahe des Falkenheims, (Meßstelle 20) welche an der quer verlaufenden Hauptstörungszone im Unteren Muschelkalk austritt zeigt in den Jahren 1966 bis 1970 demgegenüber stärkere Schwankungen im Gesamtchemismus. Anfang März 1966 und Ende April 1966 betrug die Chloridkonzentration 1757 mg/l bzw. 1200 mg/l. Am 7.7.1966 ist sie auf 575 mg/l abgesunken um sich von da an bis zum Frühjahr 1970 zwischen 325 mg/l (19.11.68) und 705 mg/l (1.8.67) zu bewegen. Ähnlich verhielt sich der Sulfat-Gehalt; er fällt von 491 mg/l (4.3.66) auf durchschnittlich 280 mg/l (17.4.66 bis 28.9.67). Leitfähigkeitsmessungen zwischen September 1969 und August 1970 machen ein erneutes Ansteigen des Gesamtsalzgehaltes von Ende Januar 1970 ($L = 1520 \mu\text{S/cm}$ bei 20°C) auf Anfang April 1970 ($L = 3520 \mu\text{S/cm}$ bei 20°C) deutlich (siehe Abb. 33). Der Chlorid-Gehalt betrug am 12.9.69 404 mg/l, am 28.4.70 1200 mg/l. Bei gleichbleibender Wassertemperatur ($10,0 - 10,5^\circ \text{C}$) war die Schüttung dieser Quelle (Meßstelle 20) zu Zeiten hohen Salzgehaltes größer als zu Zeiten niedrigen Salzgehaltes (4.3.66 und 27.4.66: 4,5 l/s; 23.1.70: 0,66 l/s; 16.4.70: 2,5 l/s). Der erhöhte Chlorid-Gehalt ist zweifellos auf einen zeitweilig verstärkten Zufluß von NaCl-haltigen Zechsteinwässern zurückzu-

Abb. 34: Zusammensetzung und chemische Varianz von Grundwässern an der Asse - 1 -

Messstelle 1



Messstelle 20

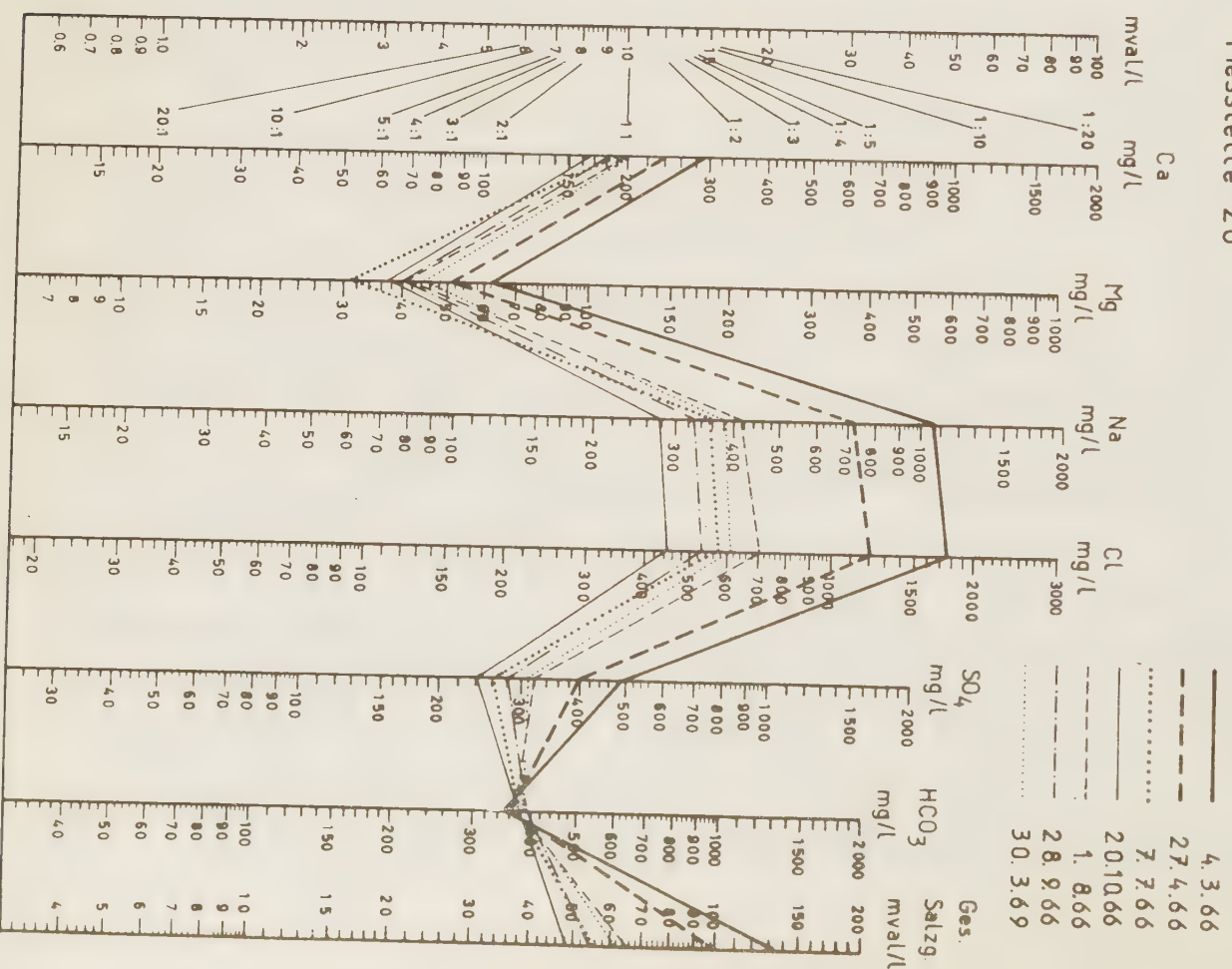
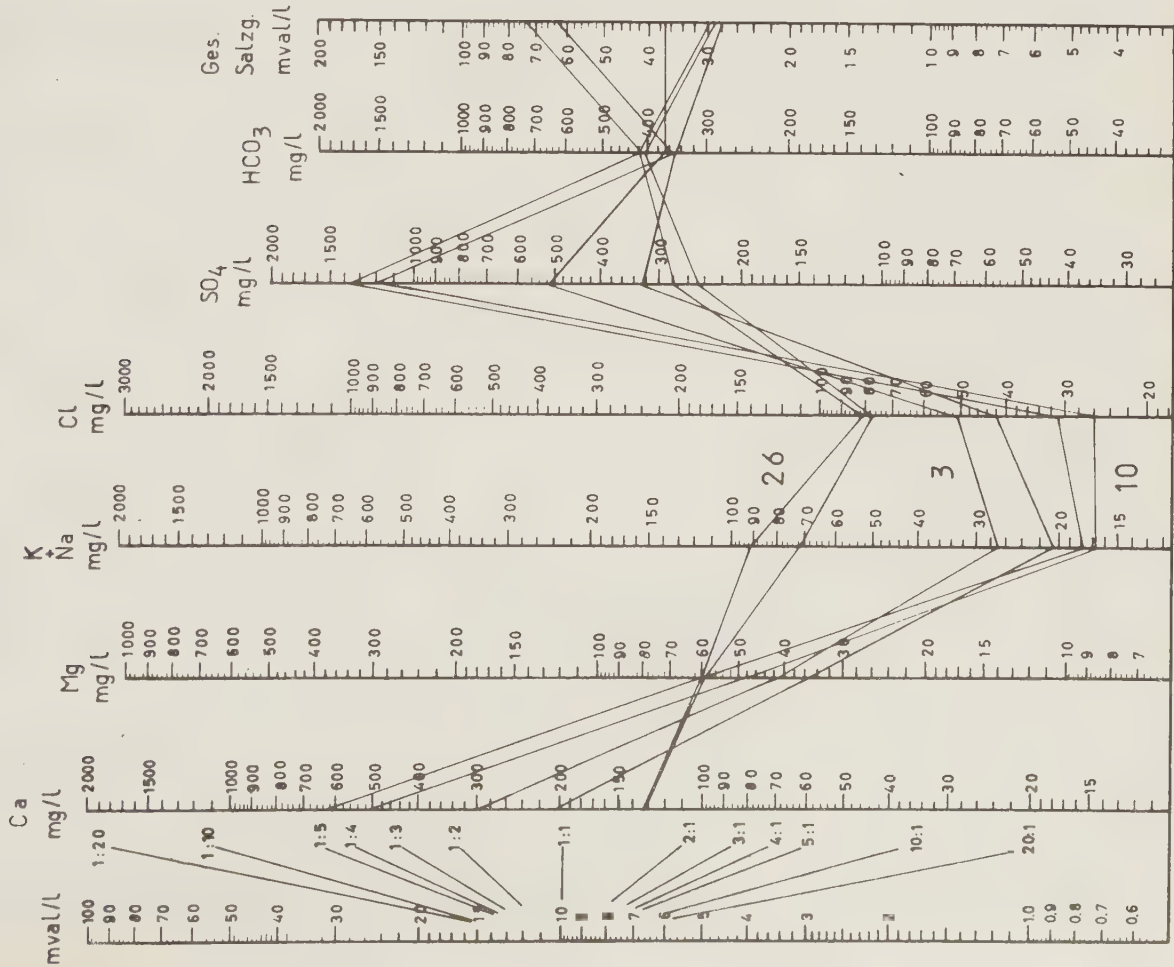


Abb.35: Zusammensetzung und chemische Varianz von Grundwässern an der Asse - 2 -

Messtellen 3,10,26



Messtellen 15,21,27

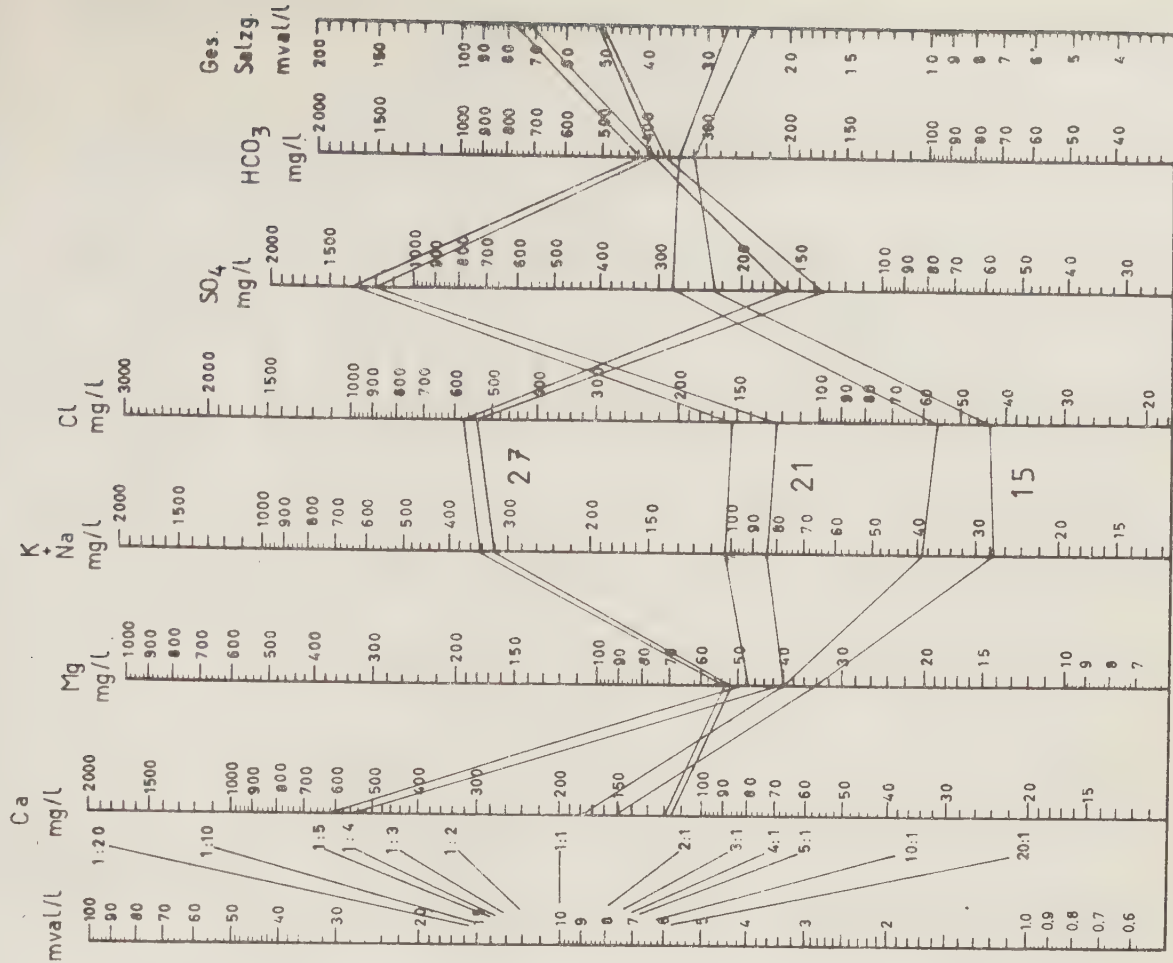
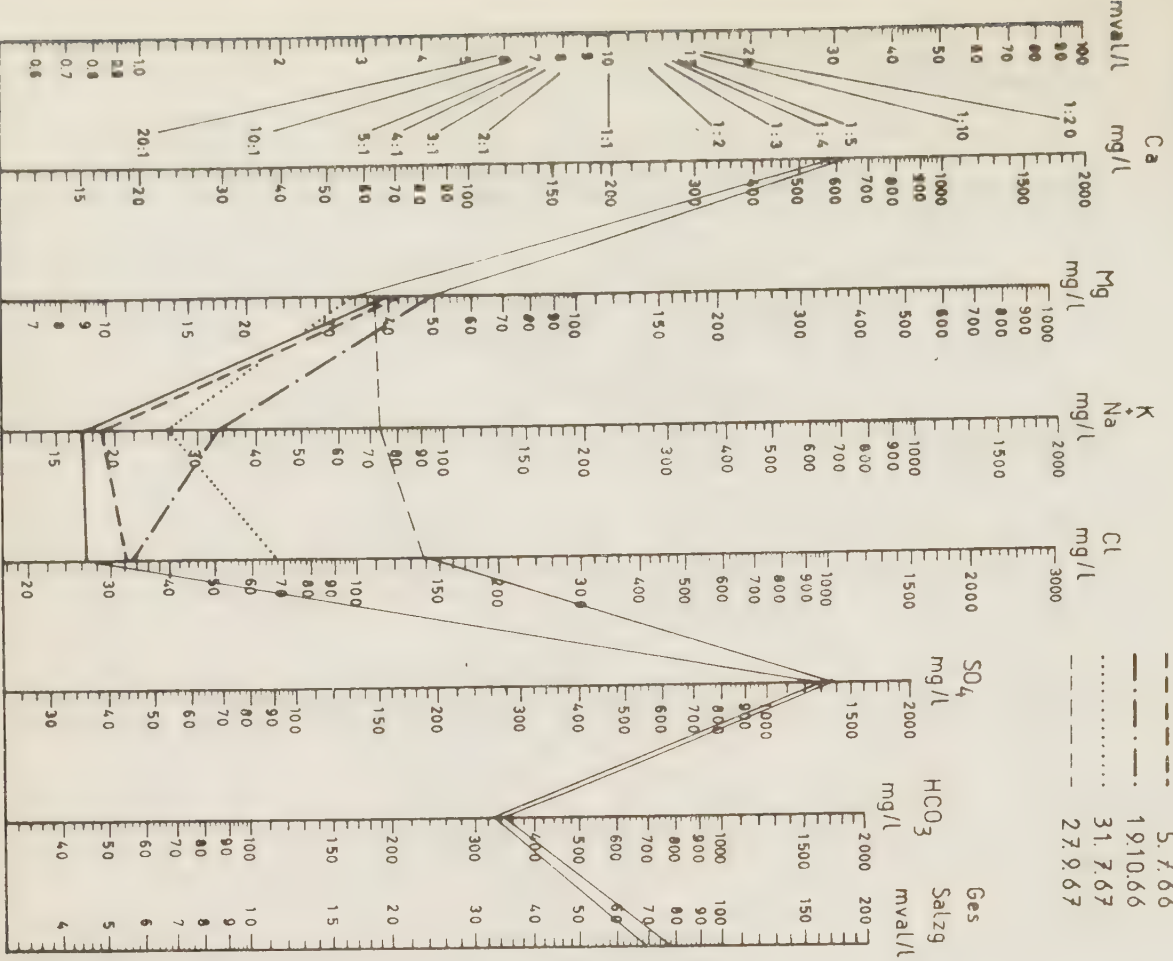


Abb.36: Zusammensetzung und chemische Varianz von Grundwässern an der Asse - 3 -

Messstelle 2



Messstellen 16,18

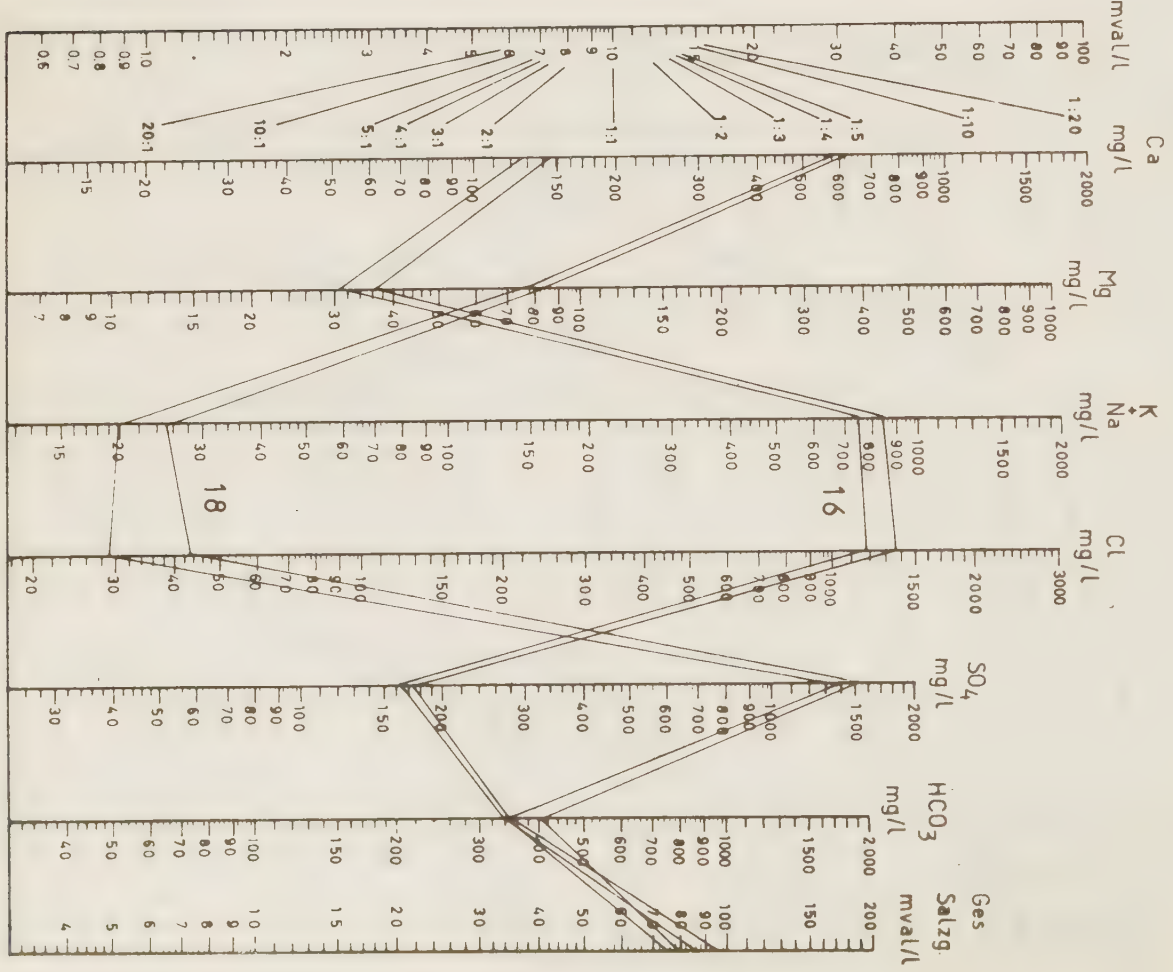
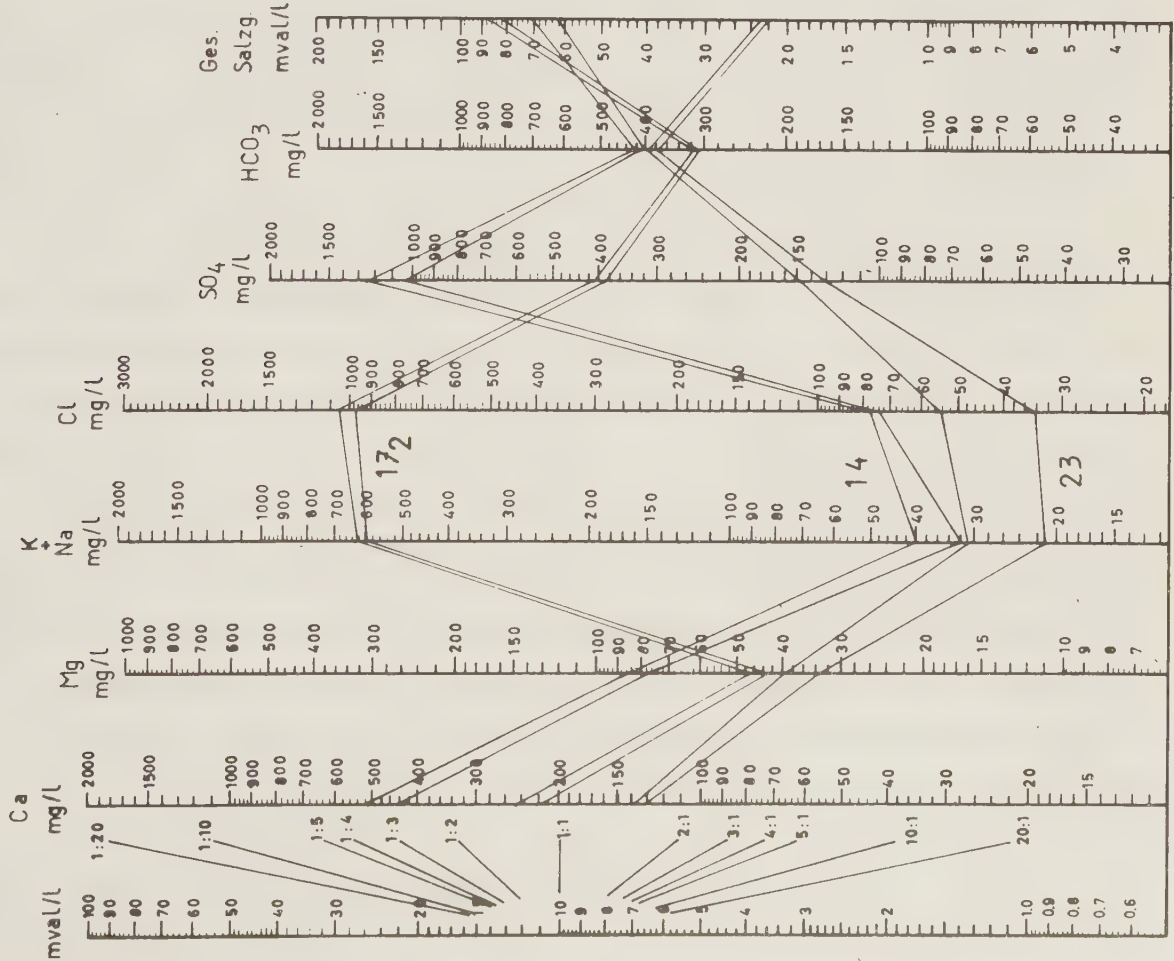
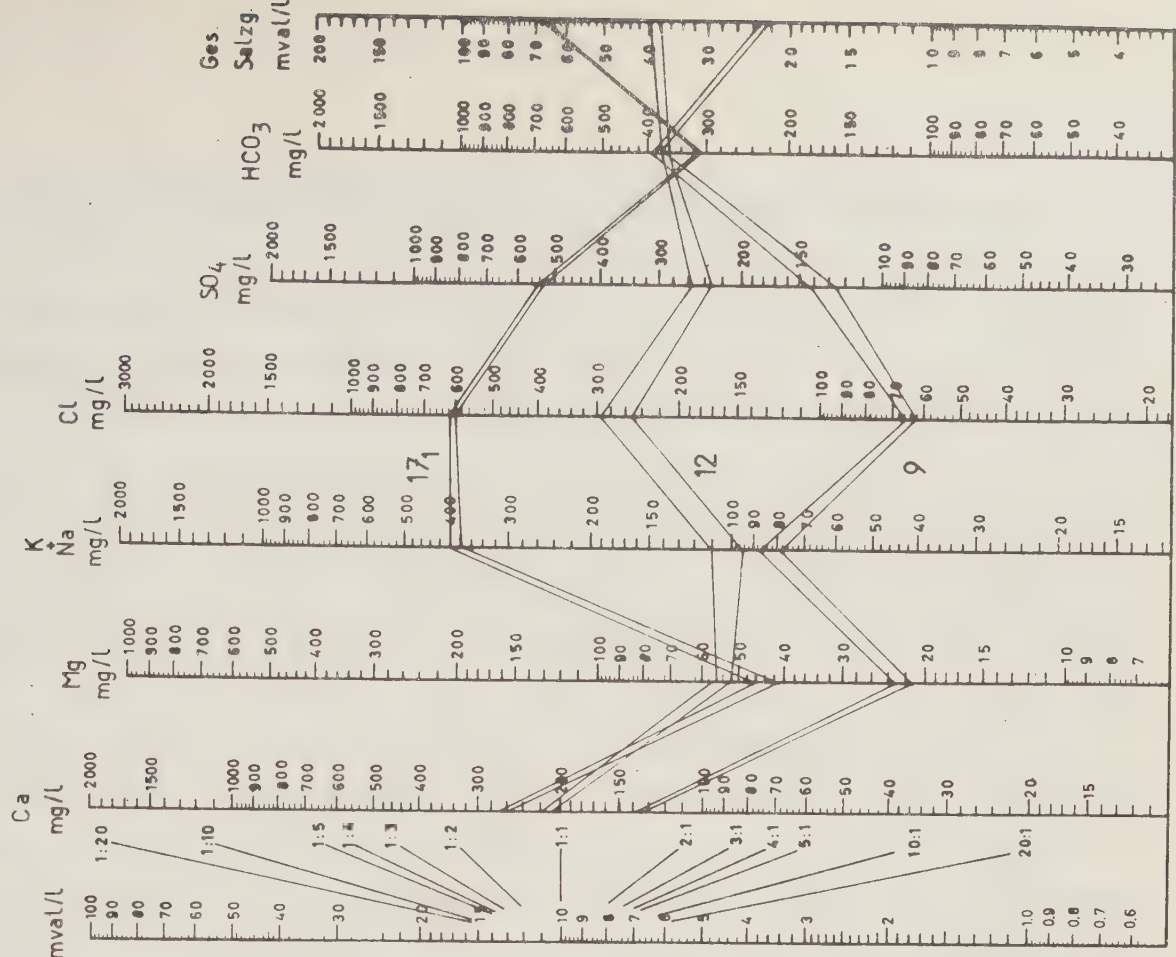


Abb. 37: Zusammensetzung und chemische Varianz von Grundwässern an der Asse - 4 -

Messtellen 14, 17₂, 23



Messtellen 9, 12, 17₁



führen, wahrscheinlich durch einen zeitweiligen Anschluß neuer NaCl-Wasser bringender Wasserwege.

Das Wasser aus einem etwa 30 m tiefen, gemauerten Brunnen beim Schacht Asse II (Meßstelle 1) ist ebenfalls starken Schwankungen im Chemismus unterworfen; das betrifft vor allem den Chlorid-Gehalt (von 598 mg/l am 11.11.66 bis 1960 mg/l am 30.3.69), aber auch den Sulfat-Gehalt der sich gleichsinnig mit dem Chlorid-Gehalt ändert (11.11.66 : 133 mg/l; 30.3.69: 290 mg/l).

Der Hydrogenkarbonat-Gehalt des Wassers ist relativ konstant (327 - 367 mg/l). Die Erdalkalichlorid-Gehalte dieses Wassers sind erheblich und schwanken zwischen 8,5 und 17,4 mmol/l. Sie deuten auf ionenaustauschende Vorgänge (siehe Abschn. 4.4.3). Der hohe Chlorid-Gehalt samt seinen Schwankungen ist möglicherweise durch Auslaugung steinsalzhaltiger Halden in der unmittelbaren Umgebung des Schachtes Asse II durch versickerndes Niederschlagswasser beeinflusst. Allerdings sind bis jetzt Zusammenhänge zwischen den Niederschlägen und den Schwankungen des Chlorid-Gehaltes nicht nachweisbar.

Das Wasser der Meßstelle 2 (Quelle aus dem Muschelkalk beim Vahlberger Teich) zeigt bei sonst mehr oder minder konstant bleibendem Chemismus lediglich im Chlorid-Gehalt eine stärkere Schwankung. Vom 27.5.52 bis 19.10.66 sind Chloridwerte zwischen 28,0 und 33,2 mg/l nachgewiesen. Ab 31.7.67 wurden höhere Gehalte von 68 mg/l bis 162 mg/l festgestellt. Die Sulfat-Gehalte schwanken in den Jahren 1952 bis 1968 zwischen 1298 mg/l und 1403 mg/l, sie sind also relativ konstant. Nach der Lage des Austrittsortes und der Ergebnisse der Schwefelisotopenbestimmungen (Abschn. III. 5) ist eine Herkunft dieses Wassers aus dem Muschelkalk und seinen Gipsablagerungen wahrscheinlich. Die Erhöhung des Chlorid-Gehaltes kann am zwangslosesten durch eine Ablaugung bisher vor der Auflösung geschützter geringer Steinsalzgehalte im Gips des Mittleren Muschelkalkes erklärt werden, wenn auch eine Beeinflussung durch geringe Mengen Chlorid-haltiger Zechsteinwässer nicht mit letzter Sicherheit auszuschließen ist.

5. Schwefel-Isotopen-Verhältnis in Gipsen und Grundwässern aus der Asse

5.1 Grundlagen

In der Natur kommen vier verschiedene stabile Schwefelisotope vor, ^{32}S , ^{34}S , ^{33}S , ^{36}S . Die beiden häufigsten Schwefelisotope sind ^{32}S (93,00 %) und ^{34}S (4,22 %). Das auf einen Standard bezogene Verhältnis $^{34}\text{S} / ^{32}\text{S}$ wird als $\delta^{34}\text{S}$ -Wert nach der Gleichung

$$\delta^{34}\text{S}(\text{‰}) = \frac{^{34}\text{S} / ^{32}\text{S} \text{ Probe} - ^{34}\text{S} / ^{32}\text{S} \text{ Standard}}{^{34}\text{S} / ^{32}\text{S} \text{ Standard}} \times 1000$$

angegeben. Als Standard dient das Schwefel-Isotopen-Verhältnis des Schwefels der Troilit-Phase des Canon-Diablo-Meteoriten ($^{34}\text{S} / ^{32}\text{S} = 22,22$; $\delta^{34}\text{S} = \pm 0 \text{ ‰}$) von dem angenommen wird, daß es dem irdischen Mittelwert entspricht (MACNAMARA u. THODE 1950). In der geochemischen Gesamtbilanz des am exogenen Kreislauf beteiligten Schwefels steht, bezogen auf den irdischen Mittelwert, einem Überschuß an ^{34}S in den marinen Sulfaten (positive $\delta^{34}\text{S}$ -Werte) ein Defizit an ^{34}S (negative $\delta^{34}\text{S}$ -Werte; im Mittel von -5 ‰ bis -15 ‰, max. - 50 ‰) in den sedimentären Sulfiden gegenüber (NIELSEN 1965). Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert in Sulfat rezenten Meerwassers beträgt ziemlich einheitlich + 20 ‰.

Aus Untersuchungen von NIELSEN u. RICKE 1964, NIELSEN 1965 u.a. weiß man, daß sich die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte im Sulfatschwefel von Evaporiten verschiedenen Alters stark voneinander unterscheiden. Weltweit sind die Schwefel-Isotopen-Verhältnisse innerhalb ein und derselben geologischen Formation jedoch im allgemeinen recht einheitlich. Das gilt vor allem für rein marine Evaporitsulfate. In Abb. 36 sind die Streubereiche der an deutschen Evaporitvorkommen aus dem Zechstein, Röt Muschelkalk und Keuper gemessenen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte dargestellt. Im Zechstein zeigen sich bei Sulfaten der K - Mg - Fazies (= "späte Sulfate") niedrigere $\delta^{34}\text{S}$ -werte (unter + 10 ‰) als bei Sulfaten früherer Ausscheidungen ("frühe Sulfate"). Diese Verarmung an ^{34}S resultiert aus einem Fraktionierungseffekt bei der Sulfatausfällung (NIELSEN 1965,

NIELSEN u. RAMBOW 1969). ^{34}S wird etwas bevorzugt in das Kristallgitter des ausgeschiedenen Sulfats eingebaut. Da dieser Effekt an der Grenze der Meßbarkeit liegt, führt er erst am Ende einer längeren Abscheidungsperiode zu den beobachteten niedrigeren $\delta^{34}\text{S}$ -Werten im Evaporit.

Die bei der Wiederauflösung von Evaporitsulfaten durch das Grundwasser sich vollziehende Fraktionierung liegt ebenfalls an der Grenze der Meßbarkeit. Das Isotopenverhältnis im gelösten Sulfat sollte daher mit dem im Evaporit übereinstimmen. Eine nachträgliche Verfälschung des Isotopenverhältnisses im Grundwasser könnte jedoch auf verschiedene Weise eintreten:

1. durch Zumischung von Schwefel mit anderem Isotopenverhältnis

a) durch Mischung verschiedener Wässer aus unterschiedlichen Formationen (z. B. Mischung eines Rötewassers mit einem Zechsteinwasser)

b) durch Zufuhr von Sulfat, welches aus der Oxidation sedimentärer Sulfide stammt.

2. durch bakterielle Sulfatreduktion.

Der im ersten Fall im Mischwasser entstehende $\delta^{34}\text{S}$ -Wert ist abhängig von der Sulfatkonzentration, dem $\delta^{34}\text{S}$ -Wert und dem Mischungsverhältnis der einzelnen Wässer. Durch Zufuhr von Sulfat, das aus sedimentären Sulfiden entstand, kann der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert auch negativ werden. Zumischung anthropogenen Schwefels (Kunstdünger, Abwässer, SO_2 aus industriellen Abgasen im Niederschlag) kann je nach Ausgangsmaterial eine unterschiedlich gerichtete Verfälschung des Isotopenverhältnisses herbeiführen. Durch hydrochemische und hydrogeologische Untersuchungen können derartige Einflüsse jedoch erkannt werden. Bei der bakteriellen Sulfatreduktion tritt eine starke kinetische Isotopenfraktionierung auf, welche das leichtere ^{32}S -Isotop bevorzugt und so zu einer Erhöhung des $\delta^{34}\text{S}$ -Wertes im Restsulfat führt. Das Ausmaß der Erhöhung ist abhängig vom prozentualen Sulfatverbrauch bei der Reduktion. In Wasser mit sehr niedrigem Sulfat-Gehalt müssen derartige Vorgänge besonders wirkungsvoll sein, während sulfatreiche Wässer in ihrem $\delta^{34}\text{S}$ -Wert geringer beeinflusst werden. Durch Isotopenfraktionierung bei der bakteriellen Sulfat-

reduktion erklären sich auch die niedrigen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in den biogenen Sulfiden der Sedimente (Anreicherung von ^{32}S).

Aufgrund dieser vielfältigen Verfälschungsmöglichkeiten ist eine Deutung der gemessenen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte im Einzelfall meist nur unter Berücksichtigung der geologisch-tektonischen, hydrogeologischen und hydrogeochemischen Situation möglich.

Beispiele für die Anwendung der Schwefel-Isotopen-Bestimmung zur Klärung der Herkunft des Sulfates in Grundwässern geben u. a. MÜLLER, NIELSEN u. RICKE 1966, NIELSEN u. RAMBOW 1969, HEYL, NIELSEN u. RAMBOW 1970, BÄSSLER 1970.

5.2 Probenmaterial und Meßtechnik

Es wurden 26 Wasserproben und 14 Gipsproben aus Zechstein, Röt und Keuper des Asse-Höhenzuges untersucht. Das Sulfat der Wasserproben wurde als BaSO_4 ausgefällt. Die weitere Verarbeitung der Proben und die massenspektrometrische Bestimmung des Schwefel-Isotopen-Verhältnisses erfolgte im Zentrallaboratorium für die Geochemie der Isotope in Göttingen durch Herrn Dr. H. NIELSEN. Ihm sei für seine wertvolle Hilfe an dieser Stelle besonders gedankt.

5.3 Ergebnisse

Von den in Aussicht genommenen 26 Wasser- und 14 Gipsproben liegen bisher 10 Meßwerte von Wässern und 9 von Gipsen vor; sie sind in Tab. 17 zusammengefaßt. Die bei den Wässern angegebenen Sulfat- und Chlorid-Gehalte wurden aus am 27.9.67 bzw. am 31.3.69 (Meßstellen 20, 24, 50) entnommenen Proben analysiert.

Die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Gipse bestätigen, mit Ausnahme einer Probe, die nach der geologischen Karte 1:25000 erfolgten Alterszuordnungen. Sie fallen stets in den nach Abb. 36 für diese Formation typischen Streubereich. Für die Probe G 6 wurde ursprünglich ein Zechsteinalter angenommen. Der Meßwert (+ 23,8 ‰)

entspricht jedoch einem typischen Rötsulfat. Nach freundlicher mündlicher Mitteilung von Herrn APPEL stimmt dies mit den Ergebnissen seiner Revisionskartierung überein.

Bei den $\delta^{34}\text{S}$ -Werten der Wässer ist die Zuordnung zu einem ganz bestimmten Evaporit erwartungsgemäß schwieriger. Die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von den Meßstellen 10 a (+23,3 ‰) und 21 (+ 18,3 ‰) entsprechen, wie aufgrund des Austrittsortes und des Chemismus dieser Quellwässer zu erwarten war, einem typischen Röt- bzw. Muschelkalksulfat. Der Wert des Rötwassers liegt knapp unter dem niedrigsten bisher aus der Asse bekannten Rötgipswert (+ 23,3 ‰). Der Mittelwert der 5 Rötgipsproben aus der Asse beträgt + 24,4 ‰. Nachträgliche Verfälschungen des Isotopenverhältnisses in dieser Probe sind, wenn überhaupt vorhanden, nur äußerst gering. Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert der Quelle aus dem Mittleren Muschelkalk (Meßstelle 21) liegt nahe der unteren Grenze der aus Norddeutschland bisher bekannt gewordenen Werte für Muschelkalksulfate. Entsprechende Meßwerte von Muschelkalksulfaten aus der Asse liegen bisher nicht vor.

Die Wässer der Meßstellen 2 und 3, welche nach den hydrogeologischen Gegebenheiten mit großer Wahrscheinlichkeit aus dem Muschelkalk kommen, weisen $\delta^{34}\text{S}$ -Werte von 17,7 ‰ bzw. + 16,5 ‰ auf. Sie liegen damit um 0,3 ‰ bzw. 1,5 ‰ unter dem aus Abb. 36 ersichtlichen untersten Muschelkalkwerten von + 18,0 ‰. Somit läßt sich eine Verfälschung eines reinen Muschelkalkwassers durch Sulfate des Zechsteins, welche einen niedrigeren $\delta^{34}\text{S}$ -Wert besitzen nicht ganz ausschließen. Allerdings ist auf der anderen Seite zu bedenken, daß in sämtlichen bisher an der Asse bekannt gewordenen durch Zechsteinwässer beeinflussten Grundwässer eine deutliche Erhöhung des Chlorid-Gehaltes auf mehr als 250 mg/l eintritt. Im Falle der Meßstelle 2 ist zwar im Jahre 1967 eine Erhöhung des Chlorid-Gehaltes von ca. 30 mg/l auf ca. 140 mg/l eingetreten, die bis jetzt anhielt, die Abweichung der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte dieses Wassers vom Streubereich der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Muschelkalkgipse (Abb. 36) ist jedoch zu gering um eine wesentliche Vermischung von Muschelkalkwasser mit Zechsteinwasser annehmen zu können. Theoretisch wären die Werte der Meßstellen 2 und 3 auch durch eine Mischung von Röt- wasser und Zechsteinwasser denkbar. Auch in diesem Fall sind

Tab. 17: Schwefel-Isotopen-Verhältnisse von Gipsen und Grundwässern der Asse

<u>Gipse:</u>			
Probenbez.	$\delta^{34}\text{S}$	stratigr. Position	
G 1/A	+ 23,3 ‰	Röt	
G 1/B	+ 24,2 ‰	Röt	
G 1/C	+ 24,5 ‰	Röt	
G 3/A	+ 15,4 ‰	Keuper	
G 3/B	+ 15,6 ‰	Keuper	
G 4	+ 26,1 ‰	Röt	
G 5/A	+ 11,3 ‰	Zechstein	
G 5/B	+ 11,3 ‰	Zechstein	
G 6	+ 23,8 ‰	Röt	
<u>Grundwässer:</u>			
Meßstelle Nr.	$\delta^{34}\text{S}$	Cl^- mg/l	SO_4^{--} mg/l
2	+ 17,7 ‰	137	1374
3	+ 16,5 ‰	51	513
10 a	+ 23,0 ‰	28	1336
12	+ 6,3 ‰	285	252
14	+ 16,6 ‰	73	1139
15	+ 10,5 ‰	51	283
20	+ 11,2 ‰	607	313
21	+ 18,3 ‰	132	1221
24	+ 13,6 ‰	16870	3290
50	+ 14,0 ‰	31	609

jedoch die gleichen Einwände zu machen wie bei einer Mischung von Muschelkalk- und Zechsteinwasser. Eine Herkunft des Sulfates dieser Meßstelle aus dem Keuper wie sie sowohl nach der Streuung der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte auf Abb. 36 als auch aufgrund der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Keupergipse aus der Asse (+ 15,4 und 15,6 ‰) theoretisch angenommen werden könnte, ist wegen der geologischen Situation an den Austrittsstellen der beiden Quellen ebenfalls nicht möglich.

Die Meßstelle 14 bei Groß Denkte zeigt mit + 16,6 ‰ einen ähnlichen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert wie die Meßstellen 2, 3 und 21. Keuper kommt nach den geologischen Gegebenheiten für die Herkunft des Sulfates hier ebenfalls nicht in Frage. Da die Sulfatgehalte dieser Quelle (1051 mg/l - 1237 mg/l) nahe der Sättigungsgrenze liegen und die Chlorid-Werte nur bei 73 - 76 mg/l, ist eine Mischung von Röt- und Zechsteinwasser hier wie bei Meßstelle 2 unwahrscheinlich. Betrachten wir die Meßstellen 2, 14 und 21, so stellen wir außer relativ ähnlichen Isotopenverhältnissen ($\delta^{34}\text{S}$: + 17,7 ‰, + 16,6 ‰, + 18,3 ‰) auch eine weitgehende Übereinstimmung im Chemismus und in der geologischen Position der Quellaustritte (stets im Muschelkalk) fest. Die Herkunft des Sulfates dieser drei Wässer ist daher wohl im Mittleren Muschelkalk zu suchen.

Für Zechstein als Herkunft des Sulfates sprechen die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Meßstellen 15 (+ 10,5 ‰), 20 (+ 11,2 ‰) und 24 (+ 13,6 ‰). Bei der Meßstelle 24 liegt zwar der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert etwas über der oberen Grenze des Streubereiches für Zechstein-evaporite (+ 13,0 ‰), Chemismus und Austrittsort des Solwassers lassen jedoch keine andere Deutung zu. Eine leichte Beeinflussung des Isotopenverhältnisses durch Auflösung von, im Hütgebirge enthaltenen, Resten triassischer Gipse könnte die geringe Abweichung vom "idealen" Zechsteinwert erklären.

Interessant ist, daß die Meßstelle 20 einen reinen Zechsteinwert von + 11,2 ‰ aufweist. Dazu ist aber zu bemerken, daß das Wasser der Meßstelle 20 nach den hydrochemischen Befunden durch eine Mischung von migriertem Zechsteinwasser und ortsbürtigem Muschelkalkwasser entstanden ist. Es wäre also theoretisch ein Mischwert im $\delta^{34}\text{S}$ -Gehalt zwischen Zechsteinwasser

und Muschelkalkwasser zu erwarten. Dieser Gegensatz zwischen dem gemessenen und dem erwarteten $\delta^{34}\text{S}$ -Wert könnte man durch einen nur äußerst geringen Sulfat-Gehalt des ortsbürtigen Grundwassers und/oder einen etwas niedriger als 11,2 ‰ liegenden Ausgangswert des zumischenden migrierten Zechsteinsulfates erklären.

Der $\delta^{34}\text{S}$ -Wert des Wassers der Meßstelle 50 (+ 14,0 ‰) ist mehrdeutig. Eine Herkunft des Sulfates aus dem Keuper ist nach der geologischen Karte 1:25000 wohl nicht vertretbar. Der Quellaustritt liegt in den Ceratitenschichten und zwar an einer Störung, welche vom Hutgebirge durch den gesamten Muschelkalk verläuft. Eine Mischung von Zechsteinwasser mit Muschelkalk ist hier eventuell möglich.

Etwas aus der Reihe fällt mit $\delta^{34}\text{S} = + 6,3 \text{ ‰}$ die Meßstelle 12 (Brunnen Wittmar). Dieser niedere Wert läßt sich eigentlich nur durch Zumischung von aus oxidierten Sulfiden entstandenem Sulfat erklären.

Zusammenfassend läßt sich sagen: in vielen Fällen gibt das Schwefel-Isotopen-Verhältnis eine Aussage bzw. einen Hinweis auf die Herkunft der Sulfatgehalte im Grundwasser. Nach Vorliegen der noch ausstehenden Meßwerte ist mit Sicherheit die Aufhellung einiger noch offener Fragen zu erwarten.

6. Hydrogeologie und Tektonik

6.1 Die Beeinflussung der Grundwässer im Deckgebirge durch Zechsteinwässer

Mit hydrochemischen Methoden ist zumeist eine Beeinflussung triassischer Grundwässer durch Mischung mit migrierten, steinsalzreichen Zechsteinwässern und -solen nachweisbar. Damit ergibt sich grundsätzlich die Möglichkeit hydrodynamische Zusammenhänge zwischen dem wasserführenden Zechsteinrückstandsgebirge und den Flankengesteinen nachzuweisen.

Es ist nun von Interesse, die Orte solcher Beeinflussungen zu erfassen und ihre Ursachen und Voraussetzungen näher zu bestimmen.

Die hydrochemische Karte zeigt, daß versalzene Deckgebirgswässer immer an Störungen, als Quellen, oder in deren unmittelbarer Nachbarschaft, in Brunnen und Bohrungen, auftreten. Daher sind die allochthonen NaCl-Wässer in ihrer Verbreitung an den westlichen Strukturschluß und den stark zerbrochenen Südflügel gebunden.

Freilich ist diese Abhängigkeit nur für die der Beobachtung zugänglichen oberflächennahen Bereiche der Asse-Struktur erwiesen.

Nach der hydrochemischen Karte lassen sich drei Bereiche abgrenzen in denen eine Einflußnahme von Zechsteinwässern stattfindet oder wahrscheinlich ist:

1. Der westliche Strukturschluß (Nordflügel) bei Groß Denkte, einschließlich der Talsedimente der Altenau bei Wendessen und Klein Denkte.
2. Der Südflügel der Asse nordöstlich Wittmar.
3. Der Südflügel der Asse bei Remlingen.

6.1.1 Der westliche Strukturschluß bei Groß Denkte

Dieser Bereich ist gekennzeichnet durch eine intensive tektonische Zerstückelung des Deckgebirges. Sie erzeugte westlich der, den Nordflügel der Asse-Struktur quer durchschlagenden Hauptabschiebung ein Mosaik aus triassischen Gesteinsschollen. Dieser Hauptstörungszone muß auch eine wesentliche hydrogeologische Bedeutung beigemessen werden, da sie den gesamten Muschelkalk und Buntsandstein des Nordflügels erfaßt und bis an die tektonische Grenzfläche zum Salinar bzw. dessen Hutbildungen reicht. Daß es sich bei dieser Störung um eine wasserwegsame Zone handelt zeigt die Tatsache, daß praktisch alle in triassischen Gesteinen austretenden allochthonen NaCl-Wässer dieses Gebietes an diese Verwerfung gebunden sind (Meßstellen 16, 17₁, 17₂, 20, 27). Auch einige Zechsteinsolen treten am

Ausbiß der Grenzfläche Salinar bzw. Zechsteinhutgebirge / Deckgebirge oder wenigstens in dessen Nähe zu Tage. Das gilt für die Sole der Meßstelle 24, deren Austrittsort am Schnittpunkt der beschriebenen Hauptverwerfung mit dieser Grenzfläche liegt, für die Solequelle 63 und für eine weitere heute nicht mehr vorhandene Solequelle (siehe WOLDSTEDT 1931 a, geologische Karte 1:25000 Blatt 3829 Wolfenbüttel). Zeitweise sind weitere Salzwasseraustritte in einem ca. 150 m breiten Streifen beiderseits des Mühlgrabens (östlich Groß Denkte) beschrieben worden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist jedoch, neben den an tektonische Linien gebundenen Solequellen nur noch ein Salzwasseraustritt am Ostrand des Dorfes (Meßstelle 52) lokalisierbar; er wird unter der Straße in Drainrohren dem Ortskanal zugeleitet. Wenn auch die meßbare Schüttung recht gering ist (max. 0,1 l/s), so ist es doch wahrscheinlich, daß weitere Sole an dieser Stelle in oberflächennahe Schichten diffus in das Grundwasser einspeisen. Der Salzgehalt der Meßstelle 52 beträgt 215 000 mg/l, dies ist die höchste in Grundwässern an der Asse auftretende Salzkonzentration.

Im Frühjahr 1968 wurden auch an einigen, dem Mühlgraben zufließenden Drainagewässern höhere Salzgehalte festgestellt. Man wird daher zumindest zeitweise noch in größerem Umfang unkontrollierbare Salzwasserzuflüsse in das oberflächennahe Grundwasser annehmen müssen.

Als Ursache für den Auftrieb der salzhaltigen Wässer im Gebiet westlich Groß Denkte kommt nur der hydrostatische Druck in Betracht. Der geringe Gasgehalt (maximal 100 mg CO₂/l), die nicht sonderlich hohen Grundwassertemperaturen (maximal 13° C) und das hohe spezifische Gewicht der Solen lassen eine andere Erklärung für ihren vertikalen Aufstieg nicht zu.

Ein Profil (Abb. 39) bringt in schematischer Weise die, aufgrund der derzeitigen geologischen Erkenntnisse möglichen Wanderungen salzhaltiger Wässer aus dem Zechsteinhutgebirge bei Groß Denkte zum Ausdruck.

Die Wasserführung in den Hutbildungen des Zechsteins ist durch die Sulfatauslaugung und die damit in Zusammenhang stehende Verkarstung beeinflusst. Diese Wasserführung ist über dem ei-

gentlichen Gipshut sicher nicht überall gleichmäßig. Abgesehen von größeren, in das Zechsteinhutgebirge eingeschalteten, sulfatfreien Deckgebirgsschollen wie die nördlich des Bismarckturmes ist die Wasserführung abhängig von verkarstungsfähigen Sulfateinschaltungen und vom Anteil hohlraumführender und klüftiger Gesteinsarten.

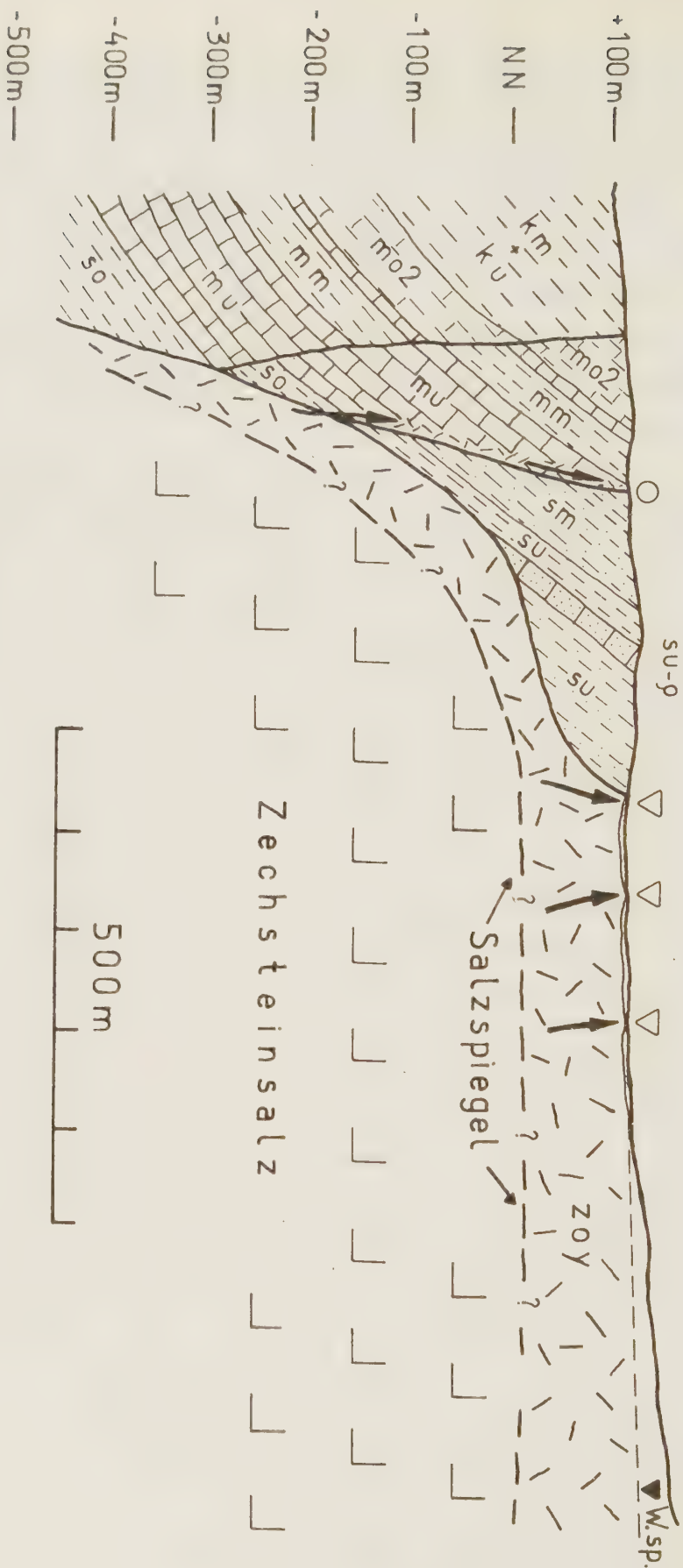
Heute noch mobile Einbruchsschlote über Gipskarsthohlräumen im Hutgebirge können örtlich das Hohlraumvolumen erhöhen und Wasserbewegungen begünstigen.

Für die aufsteigenden Quellen bei Groß Denkte kommt als höher gelegenes Einzugsgebiet die östlich sich erstreckende Subrosionssenke bis etwa in Höhe des Bismarckturmes in Frage. Bei einem angenommenen Flurabstand des Grundwasserspiegels von etwa 30 - 40 m knapp westlich des Bismarckturmes und von nur wenigen Metern bei Groß Denkte wäre immer noch ein westwärtiges Gefälle der Grundwasseroberfläche von 1,4 - 2,0 % vorhanden. Die Höhenlage der Sohlenschicht des Grundwasserkörpers - des Salzspiegels - kann bei Groß Denkte mit ca. 100 m unter GOK nur geschätzt werden. Daher ist auch ihre Neigung zwischen Groß Denkte und Wittmar hypothetisch. Der Salzspiegel in Höhe des Schachtes Asse I liegt nach HARBORT (Unterlagen der Betriebsabteilung für Tieflagerung, Wolfenbüttel, der GSF; siehe auch KALKA 1962 Profil 10 b) bei ca. 55 m über NN (siehe auch Abb. 7); der Schacht selbst trifft den Salzhang bei 50 m unter NN. Nur wenn bei Groß Denkte der Salzspiegel wesentlich höher als 75 m unter Gelände (ca. 55 m über NN) liegt würde, ein zusammenhängender Salzspiegel vorausgesetzt, das zwischen Schacht Asse I und Asse II vorhandene ostwärtige Absinken des Salzspiegels fortgesetzt. Andernfalls müßte sich der Salzspiegel zwischen Schacht Asse I und Groß Denkte verflachen bzw. nach Westen geneigt sein.

Die Austrittsstellen der Solewässer bei Groß Denkte sind fast stets an Schwächezonen im Gebirge gebunden. Einmal kann es sich um Verwerfungszonen handeln, wie bei zwei Solen (Meßstelle 24 und 63) dann aber auch um durch Gipsauslaugung entstandene Einsturzschlote. In der Vergangenheit sind einige Male Salzwasser-aufstöße, zum Teil in Verbindung mit neu entstandenen Erdfällen

WSW

ENE



Störung

aufsteigendes Salzwasser

○ NaCl-Quelle

▼ W.sp. angenommene Lage des Grundwasserspiegels

▽ Sole-Quelle

weitere Legende wie Abb. 6

Abb. 39: Hydrogeologisches Profil durch den Salzstock von Groß Denkte mit den möglichen Wanderungen der Salzwässer und ihren Austrittsborten

bekannt geworden. Sicherlich sind sie auf die Bildung neuer bis in Oberflächennähe reichender Einsturzschlote zurückzuführen, die gleichzeitig als Druckentlastungszonen wirksam wurden.

Im Gegensatz zu den im verstürzten Deckgebirge und Gipshut aufsteigenden Zechsteinwässer stehen die im Deckgebirge an der Hauptverwerfung austretenden allochthonen NaCl-Wässer. Während die Zechsteinsolen einen relativ kurzen Aufstiegs-
weg durch die Hutbildungen des Zechsteinsalzkörpers zurücklegen, durchdringen die allochthonen Wässer teilweise den gesamten Buntsandstein und erfahren durch eine Mischung mit geringer mineralisierten Deckgebirgsgrundwässern eine Veränderung ihres chemischen Charakters und eine Verdünnung ihres Salzgehaltes. Nach den Vorstellungen KALKAs 1962 vom Bau des westlichen Strukturschlusses (siehe Abb. 38), denen ich mich anschließen möchte, reicht die große Querabschiebung an der sich sämtliche Quellwasseraustritte nordöstlich Groß Denkte aufgereiht finden bis an den Salzkörper bzw. an dessen Gipsmantel. Die hydrochemische Beeinflussung der Deckgebirgswässer längs dieser Störungszone geht vermutlich von, aus tieferen Bereichen des Gipsmantels aufsteigenden Salzwässern aus (Abb. 38). Für diese Auffassung sprechen auch die relativ hohen Temperaturen (bis zu 13°C) der chloridischen Mineralwässer, die trotz stärkerer Mischung mit kälteren Süßwässern mit denen der Solewässer vergleichbar sind.

Die Grundwasserversalzung in den Hutbildungen über dem Zechsteinsalz wird im wesentlichen über eine breitere Front erfolgen als im Deckgebirge. Die Versalzung des Grundwassers wird hier in ihrer räumlichen Ausbreitung und in ihrer Intensität bestimmt durch einsickerndes Niederschlagswasser, durch die unterschiedlichen Dichten verschieden konzentrierter Salzlösungen, durch die Diffusion von Salzlösungen und vor allem durch vertikale Grundwasserbewegungen an den Schwächezonen (durch Lösung geweitete Kluft Räume, Einsturzschlote) welche Salzlaugen aus dem Ablaugungsbereich (Salzspiegel, Salzhang) nach oben bringen. Die Verteilung der wasserwegsa-
men Hohlräume im Hutgebirge spielt für den Grad der Homoge-

nität der Versalzung ebenfalls eine entscheidende Rolle.

Anders ist die Grundwasserversalzung im Deckgebirge. Hier spielen Verwerfungen und die sie begleitenden Zonen intensiverer Zerklüftung, also wohl abgrenzbare Aufstiegszonen, eine stärkere Rolle. Aus Abb. 38 ist ersichtlich, daß nicht unbedingt die Störungsflächen selbst bzw. der engere Störungsbereich wasserwegsam sein müssen. Die Störungen durchschlagen nämlich eine Wechselfolge von Tonen, Sandsteinen und Kalksteinen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins die sie gegen Kalke und Mergelsteine des Unteren Muschelkalks versetzen; sie sind dadurch möglicherweise vertont und abgedichtet. Dann können als Bewegungsbahnen die Begleitklüfte im Unteren Muschelkalk der westlichen Scholle dienen.

Neben diesen in unmittelbarer Salzstocknähe stattfindenden Grundwasserversalzungen sind auch Anzeichen für eine weiter ins Asse-Vorland reichende Versalzung der Grund- und Oberflächenwässer vorhanden.

Die Entwässerung des Asse-Höhenzuges bei Groß Denkte erfolgt über mehrere Gräben (Assebach, Mühlgraben) nach Westen bzw. nach Nordwesten zur Altenau. In ihnen kommen sämtliche nicht für Wasserversorgungszwecke gefaßten salzigen Quellwässer zum Abfluß.

Da Abflußmessungen und chemische Analysen von Vorflut und Quellen nicht synchron vorliegen (in Abb. 40 sind jeweils Höchstwerte eingetragen) können die Zusammenhänge zwischen Abflußmengen und Salzgehalt bei Quellen und Vorflut nur abgeschätzt werden. In Abb. 40 sind die Chlorid-Gehalte (in mg/l) und die Nichtkarbonat (NK)-Härten (in ° dH) in Grund- und Oberflächenwässern im Bereich zwischen dem westlichen Strukturschluß und der Altenau dargestellt. Die Zunahme des Chlorid-Gehaltes im Assebach im Bereich von Groß Denkte ist eindeutig auf den Zufluß von Solquellen zurückzuführen, die ihm zum Teil über den Mühlgraben zufließen. Zwischen dem westlichen Ortsrand von Groß Denkte und der Einmündung des Assebaches in die Altenau erfolgt keine wesentliche Änderung im Chlorid-Gehalt mehr. Bedingt durch wechselnde Wasserführung

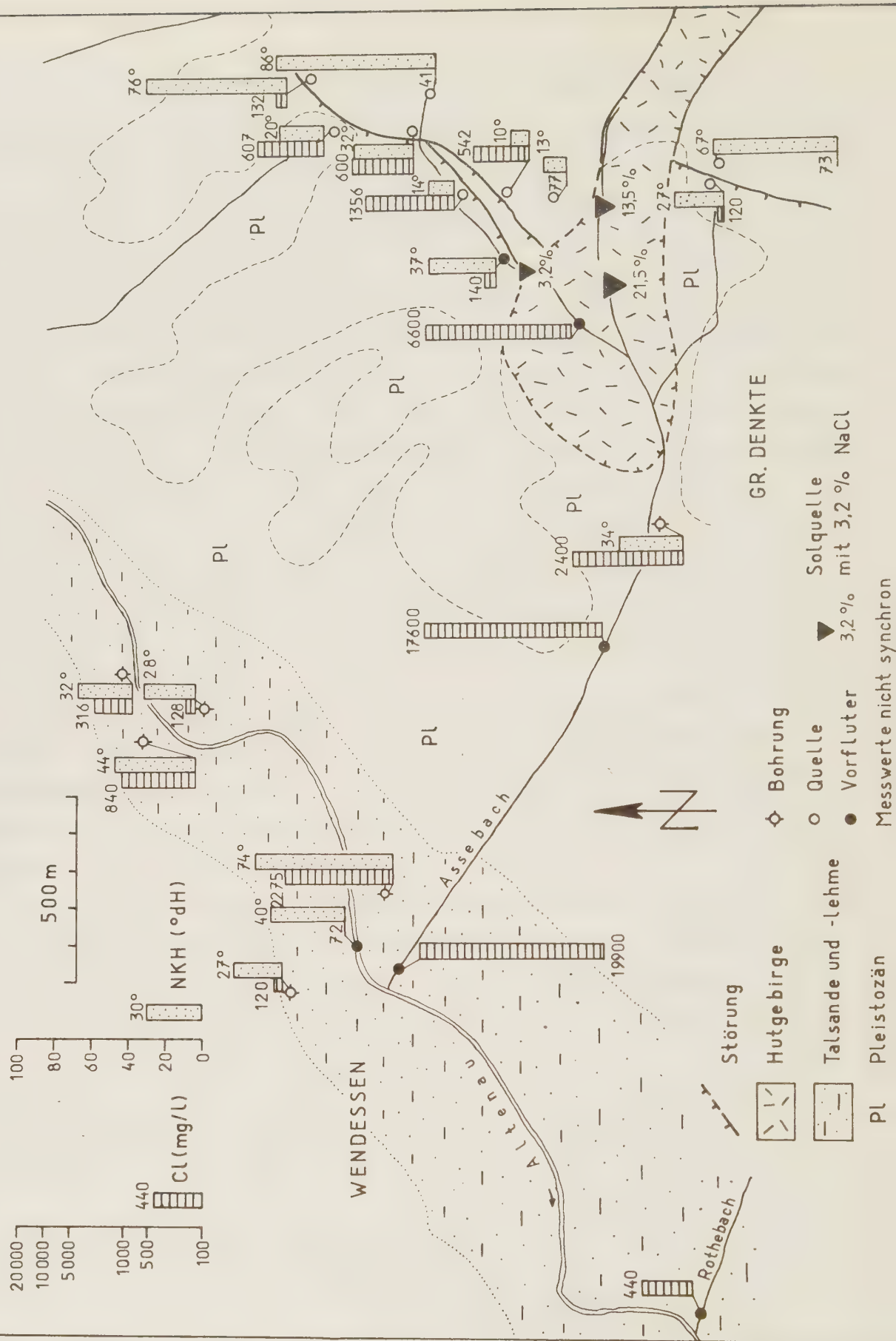
und in geringerem Maße durch Abwasserzufluß (Sägewerk, Kläranlage) schwanken die am Ort der Einmündung in die Altenau gemessenen Chloridwerte jedoch zeitlich. In den Jahren 1958 - 1960 wurden dort um ein Vielfaches höhere Chloridwerte ermittelt als in den Jahren danach (siehe Tab. 18). Da die Verschmutzungsindikatoren des Bachwassers während dieses Zeitraums keine ähnliche Erhöhung aufweisen, muß der Anstieg des Salzgehaltes mit einem zeitweise stark erhöhten Zufluß von salzhaltigem Grundwasser aus dem Zechsteinhutgebirge bei Groß Denkte erklärt werden (z.B. Aufstoßen neuer Salzquellen oder Intensivierung der Schüttung schon bestehender Solequellen). Der Chlorid-Gehalt der Altenau unterhalb der Einmündung des Assebaches ist zwischen 1958 und 1960 bis auf 3800 mg/l erhöht. Leider liegen synchrone Messungen oberhalb der Einmündung nicht vor; wir kennen nur die Salzgehalte aus den Jahren 1951 - 1953 die zwischen 72 und 108 mg Cl^-/l , bei geringer Wasserführung bei 224 mg Cl^-/l liegen. Eine einmalige Bestimmung der Gesamthärte des Altenauwassers oberhalb der Einmündung des Assebaches (22.6.51) ergab 56° dH. Bemerkenswert beim Wasser der Altenau oberhalb der Einmündung des Assebaches ist die hohe Gesamthärte und bei geringer Wasserführung auch der relativ hohe Chlorid-Gehalt. Sie können durch Zufluß der derzeit bekannten salzigen Quellwässer aus der Asse (Umgebung des Falkenheims) nicht erklärt werden. Da über den Salzgehalt der Altenau oberhalb der Einmündung der aus der Asse kommenden Gräben nichts bekannt ist, können über die Ursachen der Versalzung der Altenau nur Vermutungen angestellt werden.

Es sind folgende Möglichkeiten denkbar:

1. Die Versalzung der Altenau geschieht weiter oberhalb mehr oder minder kontinuierlich und zwar z. T. durch Verschmutzung.
2. Es treten unkontrollierbare versalzene Grundwässer aus der Asse in die Talsedimente der Altenau und weiter in die Altenau selbst über.
3. In den Jahren 1951 - 1953 flossen größere Mengen salzigen Quellwassers aus der Umgebung des Falkenheims in die Altenau als dies derzeit der Fall ist.

Abb. 40:

Chloridgehalte und NK-Härten der Grund- und Oberflächenwässer im Bereich von Gr.Denkte



Von diesen drei Möglichkeiten erscheint die zweite nur dann zulässig, wenn die Altenau in diesem betrachteten Abschnitt nicht gegen die wasserführenden Talsedimente abgedichtet ist. Inwieweit dies zutrifft kann aber beim derzeitigen Kenntnisstand noch nicht entschieden werden.

Daß die Talsedimente der Altenau (Sande und Kiese) im Gebiet um Wendessen versalzenes Wasser führen ist sicher.

Wie bereits beschrieben sind in einigen, meist nur 5 - 8 m tiefen Bohrungen in den Talsedimenten der Altenau Chloridwässer angetroffen worden, die nur durch Migration von Zechsteinwässern aus der Asse erklärt werden können.

Als mutmaßliche Migrationsbahnen kommen etwa E - W verlaufende Störungen in Betracht deren Verlauf aber unter pleistozäner bzw. alluvialer Bedeckung verborgen ist.

Eine ins einzelne gehende Klärung der hier aufgezeigten Versalzungserscheinungen westlich des Strukturschlusses ist wohl nur durch weitere hydrologische und hydrochemische Untersuchungen in diesem Teilbereich möglich, die vor allem genauere geologische Kenntnisse über Mächtigkeit und Petrographie des Altenaualluviums und der pleistozänen Bedeckung zur Grundlage haben müßten. Hierzu gehören einleitend geoelektrische Messungen in Verbindung mit einigen seichten Aufschlußbohrungen sowie synchrone Messungen von Schüttung, Temperatur und Chemismus der Quellen und Oberflächenwässer in diesem Bereich. Abhängig von den Ergebnissen dieser Untersuchungen müßten dann Rammpegel geschlagen werden um eine systematische Beobachtung zu ermöglichen.

6.1.2 Der Südflügel der Asse nordöstlich Wittmar

Bei Wittmar ist der Südflügel der Asse besonders stark tektonisch zerbrochen. Es reichen Querstörungen vom Lias bis an den Gipshut bzw. den Gipsmantel. Ein deutlicher Taleinschnitt zeichnet diese Zerrüttungszone morphologisch nach. An ihr mußte man von vornherein mit einer Abwanderung chloridischer

Tab. 18: Chemische Beschaffenheit der Vorfluterwässer bei Groß Denkte (Angaben in mg/l)

Bezeichnung	Datum	pH	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	KMnO ₄ -V.	sof. O ₂ 248 Std.	BSB ₅
Assebach oberhalb Kläranlage	6. 6.51	--	17600	--	--	--	--	--	--
	25. 3.60	7,5	34500	9,0	n.n.	n.n.	207	0,7	38
	4.11.61	7,8	6800	8,0	0,5	13	55,5	--	7,8
	2. 5.66	7,9	3700	0,25	0,1	32	22	8,8	8
Assebach unterhalb Kläranlage	25. 3.60	7,6	21800	11	0,8	n.n.	180	2,9	25
	4.11.61	7,6	6400	16,5	0,9	5	90	--	26,2
Assebach vor Mündung in Altenau	6. 6.51	--	19900	--	--	--	--	--	--
	25. 3.60	7,4	25700	9,0	0,6	n.n.	127	2,6	23
	2. 5.66	7,9	3000	1,5	1,0	40	32	7,2	7
Altenau unterhalb Wendessen	25. 3.60	7,6	3800	9,0	0,4	3,0	39	9,1	5,6
	4.11.61	7,5	350	5,1	Sp.	3,0	60	4,3	19

Zechsteinwässer in das Deckgebirge rechnen (siehe hydrochemische Karte).

Chemische Analysen von Grundwasser aus dem Brunnen Wittmar (Meßstelle 12; Teufe 54 m, im Rätsandstein) und aus einer Wasserbohrung am Wittmar-Horn, nordöstlich Wittmar (Probenahmestelle Wi 2) brachten Chlorid-Gehalte von ca. 290 mg/l bzw. ca. 790 mg/l und bestätigten die Annahme, daß tatsächlich chloridische Zechsteinwässer in das Deckgebirge abwandern.

Da sämtliche autochthonen Grundwässer aus der Trias nur geringe Mengen Chlorid führen, müssen diese Chlorid-Gehalte von versalzten Wässern des Gipshutes und Gipsmantels des Zechsteinsalzkörpers kommen. Im Wasser des Brunnens Wittmar sind Erdalkalichlorid-Gehalte von bis zu 4,5 mmol/l ($= 250 \text{ mg CaCl}_2/\text{l}$) enthalten. Diese außergewöhnliche Mineralisation spricht für einen längeren Wanderungsweg von Natriumchloridwässern und einen gleichzeitigen Ionenaustausch von Na^+ aus der Lösung gegen Ca^{2+} aus den Mineralen der Austauschsubstanz (Regenerationsvorgang; siehe Abschn. III. 4.4.3, Gleichung (2)).

Im Wasser der Probebohrung Wi 2 wurde während des Abteufens bzw. Abpumpens eine von 512 mg/l auf 794 mg/l ansteigende Chloridkonzentration gemessen. Aufgrund eines gleichzeitigen Defizits an Erdalkalien von 3,45 mval/l läßt sich ein Natriumsulfatgehalt von 260 mg/l errechnen. Auch hier muß man Austauschvorgänge annehmen, welche allerdings anders geartet sind als diejenigen welche zum CaCl_2 -Gehalt des Wassers im Wittmarer Brunnen führten (siehe Abschn. III. 4.4.3 Gleichung (3)). Die Bohrung traf Chloridwasser an, welches mit offenbar noch nicht vollständig mit Erdalkali-Ionen belegten "natürlichen Permutiten" in Kontakt war. Sie konnten noch Na^+ -Ionen gegen Ca^{2+} - oder Mg^{2+} -Ionen aus der Lösung austauschen.

Auch der aus der Asse kommende Rothebach zeigt an der Überführung der alten Werksbahn hohe Chlorid-Gehalte (932 - 1213 mg/l). Da der Rothebach vor Durchfließen der Subrosionssenke nur 31,5 bis 34 mg Cl^-/l (Meßstelle 11) aufweist muß ihm auf dem Weg durch die Subrosionssenke salzhaltiges Wasser eingespeist worden

sein. Eine wesentliche Beeinflussung durch Abwässer aus dem weiter oben gelegenen Asse-Wirtshaus scheidet, zumindest während des Untersuchungszeitraumes (1966 - 1967) aus, da der Chemismus des Bachwassers dafür zu konstant und der Nitrat-Gehalt (0,5 - 7,9 mg/l) zu niedrig war.

Ein Zufluß von salzhaltigem Haldenwasser über alte undichte Abwasserleitungen der Schachtanlage Asse I in den, auf dieser Wegstrecke kanalisierten Bach scheint mir als Ursache der Versalzung des Rothebaches am wahrscheinlichsten zu sein.

Nachdem der Grundwasserspiegel im Schacht Asse I bei etwa 24,5 m unter Gelände liegt und damit der Rothebach nicht als Vorfluter für den Grundwasserkörper des Hutgebirges wirkt, ist ein Einspeisen von versalztem Gipshutwasser unmöglich.

6.1.3 Der Südflügel der Asse bei Remlingen

In dem Bereich der ungefähr durch die große Querstörungszone zwischen Remlingen und Groß Vahlberg abgesteckt ist muß man ebenfalls mit der Möglichkeit von Wasserbewegungen aus dem Gipshut in die Flankengesteine rechnen.

Leider fehlen auch hier hydrogeologische Aufschlüsse fast völlig. Zwei Quellen (Meßstelle 2 und 3) östlich des Schachtes Asse II in der Nähe des Groß Vahlberger Teiches entspringen einer kleineren Scholle von Unterem Muschelkalk im Bereich der Störungszone und führen stark gipshaltiges Wasser. Der Chemismus dieser Wässer und die Ergebnisse der Schwefelisotopen-Bestimmung deuten auf Muschelkalkwässer welche möglicherweise in geringem Maße von Zechsteinwasser beeinflusst sind.

Ein Brunnen (Meßstelle 1) in der Nähe des Schachtes Asse II führt stark chloridisches Wasser (siehe hydrochemische Karte); er ist jedoch so sehr von salzigen Haldenwässern beeinflusst, daß man nicht mehr abschätzen kann welcher Versalzungsbetrag aus dem Hutgebirge des Zechsteins stammt.

Nach Süden, zwischen Schacht Asse II und Remlingen verläuft die große Störungszone zum großen Teil unter einer mehrere Meter mächtigen Quartärdecke, sodaß ihre hydrologischen Auswirkungen dort nicht erfaßbar sind. Eine Reihe von hydrogeo-

logischen Untersuchungsbohrungen sollen hier, im Bereich des Hutgebirges und am Vahlberger Teich die notwendigen Voraussetzungen für den Entscheid geben, ob an dieser Störungszone eine Migration von Zechsteinwässern stattfindet.

Da beim Schwimmbad Remlingen im Jahre 1930 in einer Wasserbohrung versalzenes Grundwasser angetroffen wurde und eine neben dem Ansatzpunkt dieser Bohrung austretende Quelle ebenfalls chloridreiches Wasser schüttet, sind Bohrungen auch in diesem Gebiet zur Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse notwendig. Leider waren die Quelle und die Brunnenbohrung nicht mehr zugänglich, sodaß nur chemische Analysen älteren Datums zur Verfügung standen.

So wurden in den Jahren 1929/30 an der Quelle $560 \text{ mg/Cl}^-/\text{l}$ und in der Bohrung ca. $450 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ festgestellt. Das Wasser der Bohrung (Probenahmestelle BR 1) hatte eine Erdalkalichloridhärte von ca. $23,0 - 24,3^{\circ} \text{ dH}$ ($\cong 457 \text{ mg CaCl}_2/\text{l}$) die sich während eines 7-tägigen Pumpversuches ($2,0 \text{ l/s}$ durchschnittliche Förderung) nur unwesentlich veränderte.

Wir müssen hier mit einer Migration von Zechsteinwässern bis in den Lias hinein rechnen. Auf welchen Bahnen diese Wässer in das Deckgebirge eindringen ist im einzelnen noch unklar, da an dieser Stelle auf der geologischen Karte WOLDSTEDTs keine Störung eingetragen ist. Es scheint jedoch nach Hinzuziehung von Luftbildern eine Störung möglich zu sein, welche etwa in dem morphologischen Einschnitt, dem die Straße von Remlingen nach Klein Vahlberg folgt, verläuft.

6.2 Die hydrogeologische Situation in der Umgebung des Schachtes Asse I

Der Schacht Asse I wurde in den Jahren 1899 - 1900 auf 375 m abgeteuft; bei 300 m und 360 m wurden Tiefbausohlen angelegt. 1906 geschah bei Abbauarbeiten im Kainithut in 285 m Teufe, etwa 360 m östlich des Schachtes, ein Laugeneinbruch der am 14.6.1906 zur Aufgabe der Grube zwang. Innerhalb eines Monats waren die Laugen im Schacht bis auf 65 m unter GOK angestiegen (BAUMERT 1928). Sie flossen offensichtlich über den klüf-

tigen Hauptanhydrit der im Bereich des Schachtes Asse I bis an den Salzspiegel reicht aus dem Laugenkörper des Gupshutes. zu. Bis 1961 wurde Salzpuder in den Schacht verkippt, sodaß zeitweise nur feuchter Salzpuder im Schacht stand. 1960 wurden in der Schachtröhre etwa 50 m unter Gelände Zuflüsse von Wasser festgestellt, welche in mehreren bis zu 2 m langen Strahlen einströmten (nach Unterlagen des Bergamtes Wolfenbüttel). Zu dieser Zeit stand der Laugenspiegel bei 51 m unter GOK. Wasserproben aus dem Schacht in Spiegelhöhe und bei ca. 123 m unter GOK zeigten eine teufenabhängige Zunahme des spezifischen Gewichtes von 1,079 auf 1,140 (von 112 NaCl/l auf 249 g NaCl/l). Die Oberfläche des Salzpuders wurde im August 1960 bei 123 m unter GOK erlotet.

Im Sommer 1970 stand das Wasser im Schacht bei ca. 24,5 m unter Gelände; es zeigte eine elektrische Leitfähigkeit um 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, was einem Chlorid-Gehalt von 1000 - 1500 mg/l entsprechen dürfte. In den letzten 10 Jahren ist also der Wasserspiegel im Schacht um ca. 25 m gestiegen; er entspricht jetzt ungefähr der Lage des Grundwasserspiegels außerhalb des Schachtes. Das Wasser im Schacht steht wie auch schon die Wasserzuflüsse in den Schacht anzeigten, in hydraulischer Verbindung mit dem Grundwasserkörper in den vom Schacht durchteuften Hutbildungen. Die Laugenschichtung im Schacht und der Salzpuderkörper unterhalb 123 m Teufe machen einen Austausch zwischen den Laugen im Grubengebäude und dem Grundwasser des Deckgebirges und Gipshutes durch den Schacht praktisch unmöglich. Auch in der Umgebung der Laugeneinbruchstelle wird es durch Lösung von Salzen zu einer Konzentrationsschichtung gekommen sein, welche ebenfalls einen vertikalen Austausch des im Grubengebäude stehenden schwereren Laugenkörpers mit dem leichteren Grundwasser im Hutgebirge zumindest sehr erschwert.

Um eine klare Einsicht in die hydrologischen und hydrochemischen Verhältnisse im Schachtwasserkörper zu gewinnen, müssen vor allem Messungen der Temperatur des Wassers, seiner Dichte, seiner elektrischen Leitfähigkeit, seines Chemismus, seines Alters in Abhängigkeit von der Teufe und nicht zuletzt auch

der Strömungsverhältnisse bzw. Diffusionsvorgänge erfolgen. Erst dann hätte man die Möglichkeit die theoretischen Vorstellungen über die hydraulischen Vorgänge im Schachtwasserkörper praktisch zu überprüfen.

6.3 Subrosion an der Asse

Anzeichen für eine unterirdische Auflösung von Zechsteinsalzen durch das Grundwasser (Subrosion) haben wir östlich Groß Denkte durch zutage tretende konzentrierte Solwässer (Meßstellen 24, 52, 63). Nach ihrer chemischen Beschaffenheit sind diese Solewässer aufsteigende Salzspiegel- bzw. Gipshutlaugen. Es müssen also am Salzstock von Groß Denkte auch heute noch Ablaugungsvorgänge stattfinden, welche durch einen vertikalen Transport von Salzlaugen aus salzspiegelnahen Bereichen des Gipshutes bzw. Gipsmantels an die Oberfläche in Gang gehalten werden. Nimmt man an, daß die Menge der fortgeführten Salze gleich derjenigen durch Subrosion in Lösung gegangenen ist, so läßt sich eine überschlägige Abschätzung der derzeitigen Subrosionsrate durchführen. Bei einer minimalen Dauererschüttung der Salzquellen bei Groß Denkte von etwa 1 l/s bei einem durchschnittlichen Salzgehalt von etwa 80 g NaCl/l (die augenblickliche Schüttungsmenge beträgt mindestens 2,0 - 2,5 l/s bei NaCl-Gehalten von 27 g/l bis 289 g/l) bedeutet das bezogen auf eine Ablaugungsfläche von 1 km² eine jährliche Subrosionsrate von ca. 1 mm (bei einer gleichbleibenden Subrosionsrate für die letzten 100 000 Jahre ergeben sich 100 m an Subrosion). Selbst wenn man eine Ablaugungsfläche von wesentlich mehr als 1 km² annimmt, so würde der resultierende Ablaugungsbetrag auf keinen Fall weniger als 0,1 mm/a betragen. Verglichen mit Subrosionsvorgängen an anderen Salzstöcken ist das ein verhältnismäßig hoher Betrag.

Wie lassen sich diese extremen Subrosionsvorgänge deuten? Einschränkend muß man bedenken, daß wir die aktuellen hydrogeologischen Verhältnisse nicht ohne weiteres beliebig weit in die geologische Vergangenheit zurückprojizieren dürfen und

auch nicht allein aufgrund einer momentan gültigen Stoffbilanz der abgelaugten Salze Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung der Subrosion machen können.

Zusätzliche Argumente für oder auch gegen eine derart intensive Subrosion über längere geologische Zeiträume könnten jedoch durch Untersuchung jüngerer, den Salzkörper betreffenden, tektonischer Vorgänge erbracht werden. So wurden von HARK (1953) und 1954) (zit. in KALKA 1962 S. 35 - 36) durch Analyse der Beziehungen zwischen dem Gefälle der Altenau und dem ihrer Talau-
ne, pleistozäne bis holozäne Hebungen wahrscheinlich gemacht. Derartige junge tektonische Hebungen können sicher auch für den Salzstock von Groß Denkte angenommen werden. Eine Hebung des Salzes hat aber sicherlich auch eine Verstärkung der Salzablaugung und ihre Inganghaltung über längere Zeit zur Folge. Wie lange diese Periode anhält läßt sich nicht ohne weiteres abschätzen. Sicher dürfte sie seit Ende der letzten Eiszeit anzunehmen sein, da man seit diesem Zeitpunkt mit relativ konstant bleibenden hydrogeologischen Bedingungen rechnen kann.

Welche Folgerungen ergeben sich für die Beurteilung von Subrosionsvorgängen in den übrigen Teilen der Asse?

Grundsätzlich ist zu bedenken, daß der Bereich von Groß Denkte durch besondere hydrogeologische Voraussetzungen ausgezeichnet ist. Die geringe Entfernung des Subrosionsgebietes zur Hauptvorflut und die günstigen Abflußmöglichkeiten von Grundwasser aus dem Zechsteinhutgebirge nach Westen sind in der übrigen Asse sicherlich nicht gegeben. Östlich von Groß Denkte liegt der Salzspiegel z. T. wesentlich höher als in den übrigen Bereichen der Asse.

Die primäre Voraussetzung für eine Ablaugung des Salzes ist selbstverständlich ein wasserführendes Hutgebirge und ein klüftiger Gipshut. Für die Umgebung des Schachtes Asse I ist eine solche Wasserführung sowohl im verstürzten Deckgebirge als auch im Gipshut nachweislich vorhanden (Ersaufen der Grube durch Zufluß von Gipshutwasser über dem Hauptanhydrit; Zufluß von Grundwasser in die Schachtröhre). In welchem Ausmaß der unterirdische Abfluß von salzhaltigen Wässern eine andauernde Subrosion in Gang hält ist weitgehend unklar. Immerhin migrieren in den Südflügel bei Wittmar längs tektonisch vorgezeich-

neter Bahnen Salzwässer. Ihre Menge scheint jedoch, vor allem wegen der relativ ungünstigen Durchlässigkeiten der triassischen Sedimente quer zur Schichtung nur gering zu sein. Ein unterirdischer Abfluß von Salzspiegellaugen im Streichen durch das Hutgebirge nach Westen ist wegen des ostwärtigen Einfallens des Salzspiegels sehr unwahrscheinlich. Da der Gipshut und der Salzspiegel in der Umgebung des Schachtes Asse II nach den Ergebnissen einer Tiefbohrung trocken ist, kann auch ein ostwärtiges Abfließen von Salzspiegellaugen aus dem Bereich des Schachtes Asse I nicht ohne weiteres stattfinden. Die Voraussetzungen für eine ähnliche intensive Subrosion wie bei Groß Denkte sind in der Umgebung des Schachtes Asse I also bestimmt nicht gegeben. Eine geringe Ablaugung von Zechsteinsalz durch das Grundwasser kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Die hydrogeologische Situation um den Schacht Asse II ist aufgrund des in einer Tiefbohrung wasserfrei angefahrenen Salzspiegels etwas anders zu beurteilen: eine Subrosion ist hier sicher nicht anzunehmen. Wie die hydrogeologischen Verhältnisse im Gipshut und Salzspiegel weiter östlich des Schachtes Asse II im Kreuzungsbereich zwischen dem Hutgebirge und der Großen Querstörungszone sind ist unbekannt. Die hydrogeologischen Verhältnisse im Hutgebirge können hier vollkommen anders sein als in der unmittelbaren Umgebung des Schachtes Asse II. Erst eine hydrogeologische Exploration dieses Bereiches durch Bohrungen und Geoelektrik könnte uns eine Einsicht in die Subrosionsverhältnisse dieses Bereiches geben.

Das Hutgebirge zwischen der erwähnten Querstörungszone und Klein Vahlberg ist allein aufgrund der anders gearteten geologischen Verhältnisse hydrogeologisch anders zu beurteilen als die Asse zwischen Schacht Asse II und Groß Denkte. Hier sind offenbar Tone des Oberen Buntsandsteins (Röt) stärker am Aufbau des Hutgebirges beteiligt und sie können eine Zirkulation von Grundwässern örtlich erschweren. Tiefreichende hydrologische Aufschlüsse fehlen in diesem Bereich bisher, sodaß keine weiteren Angaben zu machen sind.

6.4 Die Beziehungen zwischen den hydrogeologischen Eigenschaften der Gesteine, ihrer Lagerung und den Grundwasserbewegungen

Nachdem an der Asse bisher hydrologische Aufschlüsse wie Brunnen und hydrologische Untersuchungsbohrungen, an denen direkte und quantitative Untersuchungen von Grundwasserbewegungen hätten durchgeführt werden können, weitgehend fehlten ist es zunächst schwierig die Strömungen des Grundwassers in den wasserleitenden Gesteinseinheiten der Asse-Struktur zu erfassen. Der tektonisch und petrographisch komplexe Aufbau schafft jedoch besondere hydrogeologische Bedingungen denen sich die Grundwasserbewegungen an der Asse-Struktur unterordnen müssen. Die Auswirkungen die diese Bedingungen auf das Ausmaß und die Richtung von Grundwasserbewegungen haben, können anhand der geologisch-hydrogeologischen und hydrogeochemischen Untersuchungen wenigstens in den Grundzügen erkannt und diskutiert werden.

Grundsätzlich unterscheiden wir an der Asse zwei große hydrogeologische Einheiten: die Hutbildungen über dem Zechsteinsalz und die mesozoischen Flankengesteine.

Der in den Hutgesteinen befindliche Grundwasserkörper bzw. Laugekörper besitzt in der Obergrenze des Salzkörpers (= Salzspiegel) eine definierte Sohlschicht die als Stauer wirkt. Die Höhenlage der Sohlschicht ist nur an einzelnen Stellen durch die Aufschlüsse der Schächte Asse I, II, und III und durch in deren Umgebung abgeteufte Salzbohrungen bekannt (siehe WOLDSTEDT 1931 a,b). Diese Sohlschicht liegt auf Höhe des Schachtes Asse I nach den Vorstellungen von HARBORT (siehe Abb. 7) bei 55 m über NN (der Schacht Asse I selbst traf bei 55 m unter NN nur den nördlichen Salzhang). Im Schacht Asse II liegt der Salzspiegel als Sohlschicht bei 93 m unter NN und im Schacht Asse III bei ca. 231 m unter NN. Das daraus ableitbare mittlere ostwärtige Gefälle beträgt zwischen Schacht Asse I und II ca. 12 % und zwischen Schacht Asse II und III ca. 4 %. Zwischen Schacht Asse I und Groß Denkte ist die Neigung des Salzspiegels unbekannt, sie dürfte jedoch wesentlich flacher sein als östlich des Schachtes Asse I (siehe auch Abschn. III. 6.1.1).

Die durch Aufschlüsse bekannt gewordene Mächtigkeit des eigentlichen Gipshutes, also die Mächtigkeit der nicht mit Deckgebirgsanteilen vermengten Gips- und Tonrückstände des abgelaugten Zechsteinsalzes, beträgt ca. 30 m. Die Gesamtmächtigkeit der Hutbildungen, also die Mächtigkeit des Gipshutes und des verstürzten Deckgebirges beträgt zwischen ca. 70 - 100 m (Groß Denkte) und 280 - 290 m (Schacht Asse II). Die Breite der Hutbildungen beträgt bei einer Längserstreckung von über 6 km zwischen 100 und 300 m.

Die Grundwasserbewegungen in den nachweislich Wasser bzw. Lauge führenden Hutbildungen sind nur zwischen dem Bismarckturm und Groß Denkte mit einiger Sicherheit als westwärts gerichtet anzugeben (Abschn. III. 6.1.1). Diese Strömungsrichtung muß jedoch keineswegs auch in den übrigen Abschnitten des Hutgebirges vorhanden sein. Gegen ein westwärts gerichtetes Fließen von Laugen im eigentlichen Gipshut spricht das stärkere ostwärtige Gefälle des Salzspiegels. Es ist eher zu vermuten, daß die Querstörungsbereiche bei Wittmar und nördlich Remlingen die Grundwasserströmungsrichtung bestimmen. Inwieweit sich das Gefälle des Salzspiegels auf die Strömungsrichtung im Hutgebirge über dem eigentlichen Gipshut auswirkt ist im Einzelnen unbekannt. Ein Absinken von nahezu 150 m zwischen Schacht Asse I und Asse II kann jedoch nicht ohne Einfluß auf die Grundwasserfließrichtung bleiben, sodaß man östlich Schacht Asse I mit einem ostwärts gerichteten Abfließen des Grundwassers in den Hutgesteinen rechnen kann.

Die Hutgesteine werden auf ihren beiden Längsseiten von den steilgestellten mesozoischen Flankengesteinen der Asse-Struktur eingeschlossen (siehe hydrogeologische Profilserie durch die Asse). Diese Flankengesteine sind in ihren hutgebirgsseitigen Partien tonig-sandig (Röt im Südflügel, Unterer Buntsandstein im Nordflügel) ausgebildet. Sie wirken an Stellen wo sie nicht durch Querstörungen zerbrochen sind oder durch Unteren Muschelkalk ersetzt sind, wie eine schwerdurchlässige, steilstehende natürliche Staumauer die für das Grundwasser im Hutgebirge eine unüberwindliche Sperre darstellt.

Während die Hutgesteine über dem Zechsteinsalz vergleichsweise homogen und ohne durchlaufende Schichtung sind, weisen die

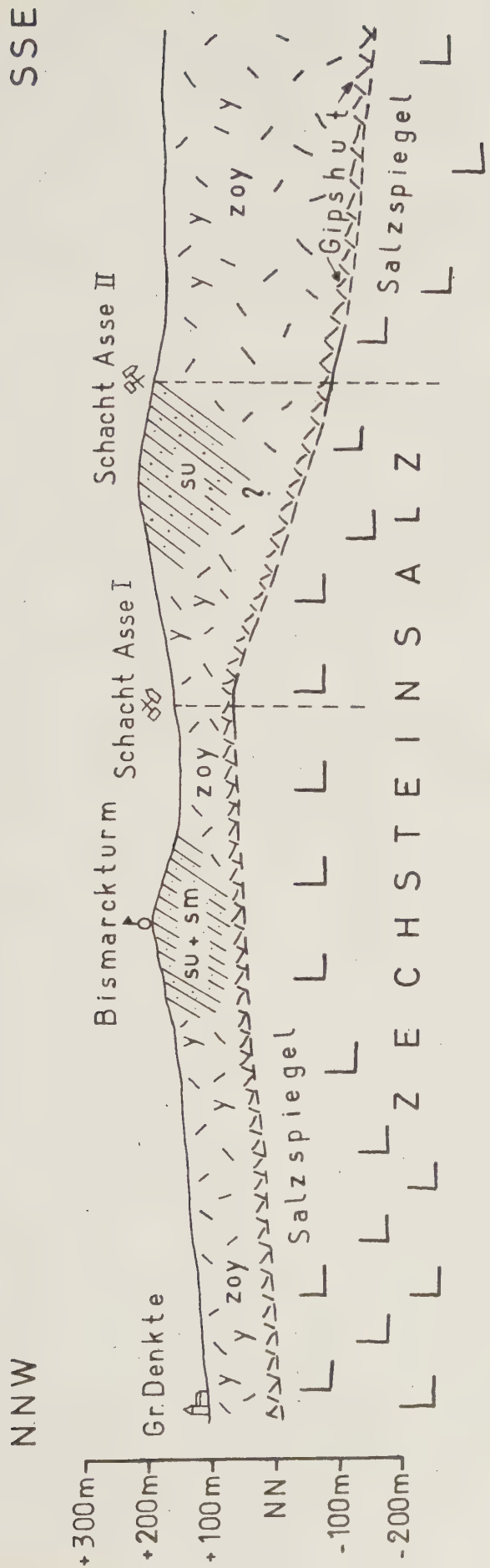
schichtigen mesozoischen Gesteine der Sattelflanken senkrecht zum Schichtstreichen stärkere Unterschiede in ihren hydrogeologischen Eigenschaften auf.

Die Grundwasserleiter, z. B. der Hauptrogenstein, das Rötgipslager, der Untere Muschelkalk, das Gipslager des Mittleren Muschelkalks, der Trochitenkalk, die Steinmergelbank im Mittleren Keuper und der Rätsandstein haben durch ihre Steilstellung eine geringere Grundwasserneubildungsfläche zur Verfügung. Diese geringe Grundwassererneuerungsfläche wird sich, sofern aus einer solchen steilgestellten Schichtfolge Wasser entnommen wird, durch eine geringe Grundwasserergiebigkeit auswirken.

Die ständig zur Verfügung stehende Gesamtabflußmenge aller Quellen eines Grundwasserleiters kann als grober Richtwert für eine minimale Grundwasserneubildung gelten. Die gesamte Quellabflußmenge beträgt an der Asse für den Trochitenkalk z. B. 1 - 2 l/s und für das Gipslager des Mittleren Muschelkalks ca. 2 - 5 l/s. Erst eine wesentliche Überschreitung dieser Mengen bei der Dauerentnahme aus einem Brunnen dürfte eine nicht durch Grundwasserneubildung auszugleichende fortschreitende Absenkung des Wasserspiegels zur Folge haben. Geringe Ergiebigkeiten wie sie etwa im Unteren Muschelkalk der Bohrung H 4 angetroffen wurden (siehe Abschn. III. 2.2.3) sind sicher auf eine geringe Gebirgsdurchlässigkeit im durchteuften Bereich zurückzuführen. Stärkere jahreszeitliche Grundwasserstandsschwankungen wie sie sich in der Hauptrogensteinbank der Bohrung H 3 andeuten (siehe Abschn. III. 2.2.2) sind bei sonst guter Gebirgsdurchlässigkeit (Injektionsversuch an H3: ca. 6 - 7 l/s Schluckvermögen) mit großer Wahrscheinlichkeit durch einen Grundwasserkörper begrenzter Ausdehnung und extrem geringer Neubildungsfläche verursacht.

Die Steilstellung der Flankengesteine an der Asse hat auch noch in anderer Weise einen Einfluß auf die Grundwasserbewegung. Betrachten wir den durch Querstörungen weitgehend verschont gebliebenen, durchschnittlich mit $40 - 45^\circ$ nach Norden einfallenden Nordflügel der Asse zwischen Schacht Asse II und Groß Denkte (siehe auch hydrogeologische Profilserie):

Die Steilstellung der Grundwasserleiter und ihre Wechsellagerung mit praktisch undurchlässigen und schwer durchlässigen Schichtgliedern ergibt bevorzugte Grundwasserbewegungen in der strei-



zoy "verstürztes Deckgebirge" (Deckgebirgsschollen + Zechsteinablaugungsrückstände)
 su Unterer Buntsandstein
 sm Mittlerer Buntsandstein
 y Gips und Anhydrit

Abb. 41: Längsprofil durch die Subrosionssenke zwischen Groß Denkte und dem Schacht Asse II

gewissen Widerspruch. Andererseits ist das Einzugsgebiet für die beiden Quellen wahrscheinlich in der Hauptsache östlich der Störungszone zu suchen, sodaß der Wasserspiegel in der Bohrung H 4 und die Austrittshöhen der Quellen nicht miteinander korrespondieren müssen.

Die komplizierte tektonische Situation in der Umgebung des Vahlberger Teiches läßt ohne zusätzliche hydrologische Untersuchungsbohrungen keine weiteren Aussagen über die hydrologische Funktion dieses Bereiches zu.

Die Höhenlage der Grundwasseroberfläche in den unterschiedlichen Grundwasserleitern des Nordflügels ist nur an drei Stellen durch Bohrungen bekannt. In der Haupttrogensteinbank der Bohrung H 3 ist sie zwischen ca. 46 und 49 m unter Gelände (178 - 181 m über NN) im Unteren Muschelkalk der Bohrung H 4 bei ca. 50 m unter Gelände (ca. 155 m über NN) und im Rät-sandstein des Mönche-Vahlberger Brunnens bei 3 - 6,5 m unter Gelände (107 - 103,5 m über NN).

Im Gegensatz zum Nordflügel der Asse ist der Südflügel zwischen Groß Denkte und Remlingen tektonisch wesentlich uneinheitlicher aufgebaut. Er wird hauptsächlich durch quer verlaufende Störungen, untergeordnet auch durch diagonale und streichende Störungen, zerbrochen. Seine Lagerung ist vor allem zwischen Groß Denkte und Wittmar meist wesentlich steiler als im Nordflügel, an einigen Stellen sogar nahezu saiger (siehe auch Abschn. II. 3.). Das bedeutet, daß Grundwasserbewegungen im Streichen eines Grundwasserleiters, wie sie im Nordflügel vorherrschen, über mehrere tektonische Teilschollen hinweg, dann erschwert sein müssen, wenn durchlässige Gesteine in der streichenden Fortsetzung von undurchlässigen oder schwer durchlässigen Gesteinen abgelöst werden. Dies ist beispielsweise westlich Wittmar der Fall (Keupertone neben Oberem Muschelkalk). Andererseits können Querstörungen Grundwasserbewegungen senkrecht zum Schichtstreichen zwischen verschiedenen Grundwasserleitern ermöglichen. Durch Verwerfungen mit ausgeprägter horizontaler Verschiebungskomponente (schräge Abschiebungen, Blattverschiebungen), bei nicht allzu steiler Schichtlagerung auch durch normale Abschiebungen, werden wasserführende Schichtglieder,

die bei ungestörter Lagerung durch mächtigere undurchlässige Lagen getrennt sind, einander angenähert.

Das bedeutet, daß das Grundwasser selbst bei einem Auftreten undurchlässiger Zwischenlagen noch über weitere Entfernungen in den triassischen Flankengesteinen senkrecht zum Schichtstreichen migrieren kann. Diese Überlegungen gelten selbstverständlich auch für den Bereich der Querstörungszone im Nordflügel nordöstlich Groß Denkte. Wie in Abschnitt II. 6.1 gezeigt wurde, treten chloridhaltige Grundwässer in Gesteinen die keine Steinsalzablagerungen enthalten dort auf, wo tektonische Querelemente eine Wanderung ermöglichen. Migrationen von chloridischen Grundwässern aus den Hutgesteinen des Zechsteinsalzkörpers konnten bisher bei Groß Denkte, Wittmar und Remlingen also in stärker tektonisch gestörten Bereichen nachgewiesen werden. Inwieweit sich ähnliche Vorgänge auch im Südflügel der Asse zwischen Wittmar und Groß Denkte abspielen, kann, weil hydrologische Aufschlüsse fehlen, nicht entschieden werden. Sehr wahrscheinlich ist das Grundwasser dort jedoch zumindest im Unteren Muschelkalk von Zechsteinwasser beeinflusst. Selbst für Störungen welche härtere, tonige Sedimente durchschlagen kann eine gewisse Wasserwegsamkeit nicht von vorneherein ausgeschlossen werden, wenn sie auch nicht in jedem Fall vorhanden zu sein braucht. In diesem Fall wirkt eine Wechsellagerung von Tonsteinen und Mergeln mit Kalken oder Sandsteinen wie sie z. B. in den Ceratitenschichten oder im Unteren Buntsandstein vorkommen auf die Wasserwegsamkeit solcher Störungen unter Umständen zusätzlich begünstigend ein. Wie anders wäre sonst eine über weitere Distanz und durch z. T. tonige Sedimente erfolgende Migration von Salzwässern, wie sie durch den Chemismus z. B. der Wässer der Meßstellen 20 und 12 sowie der Probenahmestelle BR 1 belegt wird, denkbar.

Wie sehr die Migration von Zechsteinwasser von ganz bestimmten bevorzugten, wasserwegsamem und bis an das Hutgebirge reichenden Störungszonen abhängig ist zeigt das räumliche Nebeneinander von autochthonen Grundwässern (Meßstellen 18, 21, 26) und migrierten Zechsteinwässern (Meßstellen 17₁, 17₂, 20) bei Groß Denkte. Grundwasserversalzungen gehen selbst in den tektonisch

stärker gestörten Gebieten nicht auf breiter Front in das Deckgebirge hinein, sondern sie sind an einzelne bevorzugte und begrenzte "aktive" Störungszonen gebunden.

Westlich Groß Denkte und südlich des Schachtes Asse II wo mit dem Übertreten migrierter Zechsteinwässer aus solchen Störungszonen in quartäre Sande und Kiese gerechnet werden kann ist mit einer mehr imprägnationsartigen Verbreitung der Grundwasserver-salzung zu rechnen.

IV. FOLGERUNGEN FÜR DIE LAGERUNG RADIOAKTIVER RÜCKSTÄNDE IM SALZBERGWERK ASSE II

1. Voraussetzungen

Die Langzeitlagerung radioaktiver Rückstände in Salzformationen ist vor allem in dicht besiedelten Ländern derzeit die sicherste und wirtschaftlichste Methode radioaktive Rückstände vom biologischen Kreislauf wirksam fernzuhalten (PARKER et al. 1960; KRAWCZYNSKI 1967). Es sind vor allem die Wasserundurchlässigkeit des Salzes, seine guten festigkeitsmechanischen Eigenschaften (Standfestigkeit auch großer Hohlräume), seine im Vergleich zu anderen Gesteinen gute Temperaturleitfähigkeit (Möglichkeit der Einlagerung wärmeentwickelnder Abfälle) die eine Lagerung in aufgelassenen, aber noch begehbaren Salzbergwerken ermöglichen. Zusätzlich können noch Kavernen im Salz durch Aussolung gewonnen werden.

In der Bundesrepublik ist das Salzbergwerk Asse für die Endlagerung radioaktiver Rückstände vorgesehen; seit April 1967 wird dort bereits die Versuchseinlagerung schwachaktiver Abfälle betrieben. Der Einlagerungsort ist ein Abbau auf der 750 m - Sohle (siehe Abb. 6 und ALBRECHT et al. 1969).

2. Theoretisch mögliche Gefahren für den Bestand des Salzbergwerkes

Wenn auch bergbautechnische und geotechnische Probleme für unsere speziellen hydrogeologischen Probleme keine unmittelbare Bedeutung haben, so sei doch darauf hingewiesen, daß alle bisherigen Arbeiten zeigten, daß eine Einlagerung radioaktiver Rückstände von bergbaulichen Gesichtspunkten aus möglich erscheint (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung 1964, ALBRECHT et al. 1966). Laufende gebirgsmechanische, geologische und sicherheitstechnische Untersuchungen durch das Institut für Tieflagerung der Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF) in Clausthal-Zellerfeld in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen befassen sich besonders mit den bei der Einlagerung radioaktiver Rückstände entstehenden Fragenkomplexen.

Was die hydrogeologischen Probleme bei Endlagerung radioaktiver Rückstände im aufgelassenen Bergwerk Asse betrifft, so kann folgendes gesagt werden:

Salzstöcke sind von vorneherein im Gegensatz z. B. zu den Lagerstätten der Erze und der Kohle gut vor dem Eindringen des Grundwassers geschützt. Das Wasser kann mit seiner lösenden Wirkung nur von außen her den Salzkörper flächenhaft angreifen (Ausbildung von Salzspiegeln und Salzhängen). Da sich aufgrund des plastischen Verhaltens des Steinsalzes gegenüber tektonischen Beanspruchungen im Salz offene und wasserwegsame Klüfte nicht bilden, bzw. sofort schließen, können das Innere eines Salzstockes Tageswässer nur über spröde, kompetente und geklüftete Einlagerungen innerhalb des Salzes eindringen. Solche Einlagerungen können Anhydrite, Kalke oder Dolomite sein. Nur wenn diese an den Salzspiegel oder den Salzhang reichen, ist ein Kontakt mit dem Grundwasser der Hut- oder Deckgebirgsgesteine möglich. Selbst gering mineralisierte Wässer wären jedoch beim weiteren Vordringen aus diesen geklüfteten Lagen in das umgebende Salz schon bald durch Lösung von Salzen abgesättigt und damit nicht mehr salzlösungsfähig. Erst wenn solche solewasserführenden Horizonte durch

den Bergbau angefahren werden, kann es zu einem Abfließen der eventuell in ihnen enthaltenen Salzlaugen in das Grubengebäude kommen. Nur bei starken, nicht abdichtbaren Zuflüssen und einer hydraulischen Verbindung dieser Zuflüsse mit Tageswässern, z. B. aus dem Gipshut oder dem Gipsmantel, könnte es zu einem Ersaufen der Grube kommen. Das ist z. B. im Jahre 1906 bei der Schachtanlage Asse I eingetreten (siehe Abschn. III. 6.2; und ULLRICH 1918), indem der laugenhaltige und mit dem Gipshut in Verbindung stehende Hauptanhydrit durch eine Bohrung angeschlagen wurde. Derartigen Ereignissen, welche früher oftmals zur Aufgabe einer Grube zwängen (ULLRICH 1918, BAUMERT 1928) wird jedoch in neuerer Zeit durch strenge bergbehördliche Auflagen und Sicherheitsbestimmungen Rechnung getragen. Das betrifft vor allem das Einhalten bestimmter Sicherheitsabstände zum Salzspiegel und zu den Salzflanken beim Abbau des Salzes.

Wie sind nun die Verhältnisse in der Schachtanlage Asse II vom hydrogeologischen Standpunkt aus zu beurteilen?

Ein Ersaufen der Grube durch Tageswässer und ein hydraulischer Kontakt des Grundwassers mit dem Grubenwasser könnte rein theoretisch auf zweierlei Art erfolgen: entweder über die südwestliche Salzflanke oder durch die Hutgesteine über dem Salzspiegel.

Fragen wir zunächst, ob die Grube über die südwestliche Salzflanke ersaufen könnte.

Durch Bohrungen an der SW-Flanke des Asse-Sattels (HARTWIG 1957) wurde eine den Sicherheitsvorschriften entsprechende Mächtigkeit von unverritztem Salz festgestellt. Außerdem wurde ein zwar an einigen Stellen geklüfteter, aber trockener, gasfreier und unvergipster Grenzanhydrit (A4r) und Obere Zechsteinletten (Z4t) als dichtende Lage gegen das Deckgebirge nachgewiesen. Ein Zufluß von Tageslaugen von dort her ist daher, solange diese Dichtungslage unverritzelt bleibt, praktisch nicht möglich.

Könnte nun Lauge oder Grundwasser aus den Hutgesteinen in die Grube eindringen?

Zwischen der obersten Sohle (490 m-Sohle) und dem Salzspiegel

in ca. 270 m unter Gelände stehen mehr als 200 m Leinesalz (Na_3). Außerdem fehlt der im Salzbergbau so gefürchtete weil oftmals laugenführende Hauptanhydrit, soweit durch die Aufschlüsse im Bereich des Schachtes Asse II bekannt ist, fast völlig. Die Gefahr eines Laugenzuflusses aus dem Hutgebirge ist also nicht gegeben. Nachdem die Schachtröhre im Bereich des verstürzten Deckgebirges (hier Buntsandstein) und Gips-hutes mit großem bergbaulichem Aufwand gegen Tagwässer abgedichtet wurde, ist auch über den Schacht ein Zufluß von Tagwässern nicht mehr möglich.

Inwieweit bei der Metamorphose des Salzes entstandene Restlaugen, welche sich in Form von Laugensäcken im Salz ansammeln können, eine Gefahr bedeuten, kann hier nicht beurteilt werden. Immerhin kommen am Institut für Tieflagerung der GSF durchgeführte Studien (z. B. KÜHN 1966) bezüglich der Sicherheit des Grubengebäudes gegenüber Wasser- und Laugeneinbrüchen zu günstigen Ergebnissen.

3. Ist eine hydraulische Verbindung zwischen dem Grubengebäude des Schachtes Asse II und dem Grundwasser in den Hut- oder Deckgebirgsgesteinen möglich?

Sind schon größere, nicht zu bewältigende Wasser- oder Laugenzuflüsse, die ein Ersaufen der Grube herbeiführen könnten, äußerst unwahrscheinlich, so müßte, damit eine hydraulische Verbindung des Grubengebäudes mit dem Grundwasser des Hutgebirges zustande kommt, das Grubengebäude vollständig geflutet sein. Würde dieses Ereignis nicht durch Eindringen von Tageslaugen, sondern durch Zulauf von Restlaugen aus dem Salzinne- ren eintreten, so wäre erst bei einem Undichtwerden der Schachtröhre durch ihre gewaltsame Zerstörung ein hydraulischer Kontakt mit dem Grundwasser im Hutgebirge ermöglicht.

Ein hydraulischer Kurzschluß des Grubengebäudes mit dem Grundwasser kann also erst bei einem Zusammentreffen verschiedener, für sich allein bereits unwahrscheinlicher Einzelereignisse eintreten. Ein solches Zusammentreffen kann nach dem Ausbau der Schachtröhre und ihrer vollständigen Abdichtung gegen das wasserführende Hutgebirge mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Es liegt jedoch im Sinne dieser Arbeit unmöglich erscheinende hydrologische Modelle zu konstruieren und sie selbst dann noch weiter zu verfolgen, wenn schon gezeigt werden konnte, daß ein Zusammenhang zwischen dem radioaktiven Einlagerungsort und dem Grundwasser unmöglich ist.

Konstruieren wir also dennoch den unwahrscheinlichen Fall eines hydraulischen Kurzschlusses zwischen Grubengebäude und Grundwasser und betrachten seine Einwirkung auf eingelagerte radioaktive Rückstände.

Die derzeit auf der 750 m-Sohle eingelagerten schwach radioaktiven Abfälle (ALBRECHT, KOLDITZ et al. 1969) sind in 200 l Rollreifenfässer in Beton eingegossen. Erst nach einer mechanischen oder chemischen Zerstörung dieses Schutzmantels könnten radioaktive Stoffe in den Laugenkörper des als ersoffen angenommenen Grubengebäudes übertreten.

Nach den Erfahrungen an ersoffenen Salzsächten (z. B. Schächte Königshall und Hindenburg, RICHTER-BERNBURG 1968, S. 1044-1045) darf angenommen werden, daß die beim Zufließen von Tageswässern durch Auflösung von Salz entstehende, konzentrierte und daher spezifisch schwere Salzlauge mit der Zeit nach unten absinkt und sich eine Grenzschicht zwischen der schweren Lauge und dem leichteren Grundwasser bzw. geringer mineralisierten Salzwässern ausbildet und bestehen bleibt.

Ein mengenmäßig bedeutender vertikaler Stoffaustausch über eine Distanz von nahezu 500 m vom Einlagerungsort unter Gelände bis in das Hutgebirge ist nahezu unmöglich, da die Ausbildung einer derartigen stationären Grenzschicht vertikale Wasserbewegungen ausschließt.

Auch eine Diffusion von Salzlösungen über diese vertikalen Distanzen wird keine wesentliche Änderung dieser Verhältnisse bringen, da diese in ihrer Geschwindigkeit selbst bei starkem Konzentrationsgefälle größenordnungsmäßig noch unter derjenigen extrem langsamer Grundwasserbewegungen liegt. Der Abschluß der radioaktiven Substanzen wäre auch unter diesen Umständen nicht gefährdet.

Bei einem hydraulischen Kurzschluß des Grubengebäudes mit dem Deckgebirge des Südflügels des Asse-Sattels über die südwestliche Salzflanke könnte nur unter den oben konstruierten, un-

wahrscheinlichen Bedingungen geringe Mengen radioaktiver Substanzen unter Umständen direkt in das tiefere Grundwasser übertreten. Dort in nahezu 800 m unter der Geländeoberfläche und in den stark tonigen Sedimenten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins sind jedoch Grundwassergeschwindigkeiten wie sie in höheren Stockwerken auftreten, ausgeschlossen (Tiefenstandsgrundwasser), sodaß wir auch eine Verbindung zwischen dem Tiefenstandsgrundwasser und dem oberflächennahen genutzten Grundwasser nicht annehmen dürfen.

Wenn dann, was aufgrund des Gesagten schon als unmöglich erscheint, doch mit der Theorie experimentiert wird, daß radioaktive Stoffe in das Grundwasser des Hutgebirges übertreten, so würden sie, den dort herrschenden Grundwasserbewegungen folgend, verteilt und in ihrer Konzentration weiter verdünnt werden. Über die Probleme der Migration, Dispersion und Sorption radioaktiver Substanzen im Boden, im Sickerwasserbereich und in grundwasserführenden Gesteinen, welche hier nicht Gegenstand von Untersuchungen sein konnten, gibt es ein umfangreiches Schrifttum (z. B. BROWN 1967, SPITSYN u. BALUKOVA 1967, BERTSCH et al. 1970, PUSCHMANN 1970 u. a.). Aus ihm kann entnommen werden, daß in jedem Falle bei Wanderung radioaktiver Lösungen in tonführenden Gesteinen eine ständige und beachtliche Konzentrationsabnahme erfolgt.

Im Streichen des Asse-Sattels sind nach Westen gerichtete Grundwasserbewegungen im eigentlichen Gipshut, selbst wenn dieser Laugen führt, durch das ostwärtige Salzspiegelgefälle zumindest sehr erschwert. Eher ist damit zu rechnen, daß sich östlich des Schachtes Asse II der Einfluß der großen Querstörungszone, welche hier durch den Südflügel wie Nordflügel der Asse verläuft, bemerkbar macht indem sie quer zum Streichen verlaufende Grundwasserbewegungen erlaubt. Ob diese Querstörung überhaupt eine hydrologische Bedeutung hat ist leider unbekannt. Wir wissen nur, daß zwei Quellen an dieser Störung im Nordflügel beim Vahlberger Teich (Meßstellen 2 und 3) keine Beeinflussung durch Zechsteinwässer erkennen lassen.

Soweit man nach den wenigen bisher zur Verfügung stehenden hydrogeologischen Aufschlüssen beurteilen kann, ist auch eine

Beeinflussung der, in der Kreide der Remlinger Mulde erschlossenen Trinkwässer durch migrierte Zechsteinwässer nicht zu befürchten.

Nach der zusammenfassenden Betrachtung aller Umstände erscheint es theoretisch unmöglich, daß radioaktiv verseuchtes Wasser aus dem Einlagerungsort in das Grundwasser gelangt. Bei der großen Bedeutung dieser theoretischen Aussage und bei der Verantwortung, die damit übernommen wird, darf man aber nicht auf dem Standpunkt verweilen, den diese Arbeit als Ergebnis erzielt hat. Es ist vielmehr danach zu trachten, daß durch sinnvoll angesetzte Untersuchungsbohrungen zusätzliche Bestätigungen für die aufgestellten Behauptungen und die Lösung der noch offenen Fragen gefunden werden.

4. Ausblick

Ein umfangreiches Programm von hydrologischen Untersuchungsbohrungen an der Asse ist bereits im Gange. Der Schwerpunkt der anschließenden wissenschaftlichen Untersuchungen liegt dabei vor allem auf der Erkundung hydrodynamischer Zusammenhänge in den Bereichen, wo durch die vorliegende Arbeit ein hydraulischer Zusammenhang zwischen versalztem Wasser aus den Hutgesteinen der Salzlagerstätte und dem Grundwasser der Flankengesteine nachgewiesen ist bzw. möglich erscheint. Dabei hat der Bereich um die Schachanlage Asse II Priorität. Detaillierte hydrogeologische und hydrologische Untersuchungen sollen daneben weiterhin nördlich Wittmar und im Bereich des westlichen Strukturschlusses bei Groß Denkte durchgeführt werden. Auch die Grundwasserbewegung im Hutgebirge, besonders in den Bereichen nahe des Salzspiegels wird durch einige tiefere Bohrungen beobachtet werden müssen.

Nach den Erfahrungen der vorliegenden Arbeit bringt vor allem eine intensive Behandlung hydrochemischer Fakten und Zusammenhänge in Verbindung mit den hydrogeologischen Untersuchungen genauere Einblicke in die Grundwasserbewegungen im Bereich der Asse. Es sollte daher ein umfassendes Programm für die Art und Zahl der Entnahmeorte, für die Entnahmehäufigkeit und für die

zu analysierenden Bestandteile von Wasserproben erstellt werden. Dieses Programm muß auf eine möglicherweise statistische Aufarbeitung des Materials durch elektronische Datenverarbeitung abgestimmt sein. Die Erfassung hydrochemischer Daten müßte dabei, soweit dies bohrtechnisch möglich ist, schon beim Abteufen einer Bohrung einsetzen.

Vollanalysen der Wässer, etwa nach dem an der Bundesanstalt für Bodenforschung üblichen Schema, sollten aus jeder Bohrung angefertigt werden. Ergeben sich Anzeichen teufenabhängiger hydrochemischer Varianzen, so muß diesen durch chemische Analyse von Wasserproben aus verschiedenen Tiefen nachgegangen werden.

Hydrochemische Teilanalysen, welche mindestens Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, Chlorid und Sulfat erfassen, sollten von allen hydrologischen Aufschlüssen in höchstens 2-monatigem Abstand über mindestens ein Jahr hinweg durchgeführt werden. Weiterhin wären Einzelbestimmungen von Chlorid und Sulfat Leitfähigkeits-, pH- und Temperatur-Messungen in 14-tägigen Abständen sinnvoll. Schwefelisotopen-Bestimmungen sollten zur Klärung der Herkunft des Sulfates, an sulfatreichen Wässern und gipshaltigen Kernproben weiter betrieben werden.

Eine Weiterführung der begonnenen Tritium-Messungen zur Wasseraltersbestimmung ist bereits geplant.

Neben diesem Programm, das an den neu entstehenden hydrologischen Aufschlüssen anzusetzen hat, ist in Teilbereichen der Asse an eine flächenhafte geophysikalische Erkundung zu denken. Zwischen Wendessen und Groß Denkte und südlich des Schachtes Asse II müßte, etwa durch geoelektrische Erdwiderstandsmessungen, die Verbreitung und Mächtigkeit der quartären Lockersedimente erkundet werden. Geoelektrische Tiefenson-dierungen und Kartierungen sollten darüberhinaus Informationen geben über die Höhenlage des Salzspiegels und die Verbreitung versalzener Wässer und Salzlaugen im Hutgebirge und in den quartären Lockersedimenten bei Wendessen / Groß Denkte und nördlich Remlingen. Besondere Bedeutung haben derartige Untersuchungen im Gebiet zwischen dem ersoffenen Schacht Asse I

und dem Schacht Asse II. Vor allem bietet sich der Schacht Asse I selbst an für eine Untersuchung von Grundwasserbewegungen innerhalb der ersoffenen Schachtröhre und zwischen dieser und dem Grundwasser. Dabei könnte auch geklärt werden, ob die Konzentrationsschichtung mit dem Konzentrationsprung zwischen geringer mineralisiertem Salzwasser und Lauge wirklich so beständig ist, wie wir annehmen.

Die Durchführung dieser vielfältigen und umfangreichen hydrologischen, hydrogeologischen, hydrochemischen, isotopenchemischen und geophysikalischen Untersuchungen läßt die Klärung der derzeit noch ungelösten Fragen an der Asse erwarten.

V. ZUSAMMENFASSUNG

1. In Zusammenhang mit der Endlagerung radioaktiver Rückstände im Salzbergwerk Asse II wurden am Asse-Höhenzug südwestlich Wolfenbüttel (Niedersachsen) und in seiner unmittelbaren Umgebung hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen durchgeführt.

Besondere Aufmerksamkeit wurde den hydrologischen Verbindungen zwischen dem örtlich salzwasserführenden Hütgebirge des Zechsteinsalzkörpers und den süßwasserführenden Grundwasserleitern des Deckgebirges gewidmet.

Um solche Zusammenhänge zu erkennen, wurde vor allem hydrogeochemisch gearbeitet.

2. Der Asse-Höhenzug stellt den westlichen Teil einer herzynisch streichenden Salzhebungslinie dar, welche von Groß Denkte im Westen bis Jerxheim im Osten reicht und Bestandteil des subherzynen Beckens im nördlichen Harzvorland ist.

Der asymmetrische Schmalsattel der Asse wird von Trias und Jura aufgebaut; sein Kern besteht aus Zechstein.

Das Strukturdach ist in streichender Erstreckung längs eines 100 - 200 m breiten Streifens durch teilweise bis an die heutige Oberfläche aufgedrungenes Zechsteinsalz zerrüttet und als Folge der unterirdischen Ablaugung des Salzes durch das Grundwasser (Subrosion) eingesunken.

Der steile bis saigere, z. T. überkippte und stark zerbrochene Südflügel führt Unteren Muschelkalk und Reste von Röt als älteste Gesteine über Tage, der mittelsteile weitgehend ungestörte Nordflügel Unteren Buntsandstein. Südlich und nördlich des Asse-Sattels schließen sich die Kreidesedimente der Remlinger und Schöppenstedter Mulde an. In ihren Kernen sind als jüngste Schichten das Senon bzw. das Mittlere Turon erhalten. Die Gesamtschichtmächtigkeit vom Unteren Buntsandstein bis in das Senon beträgt ca. 1900 m.

3. Eine geologische Kartierung 1:10000 in der näheren Umgebung des Schachtes Asse II zeigt das Deckgebirge stärker tektonisch gestört, als dies auf den älteren geologischen Karten angenommen wurde.

Eine im Unteren Muschelkalk nördlich des Schachtes Asse II von mir kartierte Abschiebung konnte durch eine hydrologische Untersuchsbohrung bestätigt werden.

Eine durch Gipsauslaugung verursachte Tektonik ist nicht nur in dem an das Zechsteinhutgebirge angrenzenden Deckgebirge vorhanden, sie tritt auch im gipsführenden und z.T. verkarsteten Röt und Mittleren Muschelkalk des Nordflügels und deren Deckschichten auf. Sie bewirkt z. B. neben Mächtigkeitsschwankungen im Streichen des Mittleren Muschelkalkes auch Lagerungsstörungen im Trochitenkalk.

Die Mächtigkeiten von Röt und Mittlerem Buntsandstein sind mit jeweils 100 - 120 m um 50 bis 100 m geringer als in früheren Veröffentlichungen angegeben. Für den Unteren Muschelkalk der Asse konnte erstmals ein bis auf die Basis-konglomeratbänke vollständiges Bohrprofil mitgeteilt werden. Quartäre Deckschichten, wie Fließerden und Quarzfeinsande haben im Asse-Höhenzug eine größere Verbreitung und Mächtigkeit als dies in der amtlichen geologischen Karte 1:25000 zum Ausdruck kommt.

4. Kluftmessungen zeigten drei mit 60° - 80° nach Westen bzw. Osten einfallende Kluft Hauptscharen; sie schneiden die Schichten quer bis diagonal mit Winkeln zwischen 10° und 30° , 50° und 60° und 90° und 110° . Schichtparallele Klüfte sind seltener. Im Westteil der Asse bei Groß Denkte dominiert die 10° - 30° Klufttrichtung.

5. Für die Wasserwegsamkeit der Sedimente sind die Klüfte z. T. steilstehende Schichtfugen und in verkarsteten Gipsgesteinen auch Lösungshohlräume maßgebend. Wasserwegsame Porenräume sind höchstens in geringem Maße im Mittleren Buntsandstein und untergeordnet in bindemittelarmen Oolithsandsteinpartien des Unteren Buntsandsteins

denkbar. Die Gipsgesteine im Hutgebirge des Zechsteinsalzes, im Röt und im Mittleren Muschelkalk des Nordflügels sind, wie gesättigte Gipswässer und die Verteilung der Einsturzdolinen anzeigen, örtlich unterschiedlich stark verkarstet.

6. Grundwasserführend sind folgende Schichten:

Sandsteinbänke im Unteren Buntsandstein, die Haupttrogensteinbank, Sandsteinbänke im Mittleren Buntsandstein, das Gipslager des Röt, der Untere Muschelkalk, das Gipslager des Mittleren Muschelkalkes, der Trochitenkalk, die Steinmergelbank im Gipskeuper, der Rätsandstein, der verkieselte Flammenmergel, der Cenomankalk, die Turonpläner, die Sandmergelsteine des Senons sowie quartäre Sande der Altenau bei Wendessen.

Die Verbreitung dieser grundwasserführenden Schichten wurde in Karte und Profil dargestellt.

Von wasserwirtschaftlichem Interesse sind nur der Rätsandstein mit Fördermengen von maximal 3 - 4 l/s (Brunnen Wittmar und Mönche-Vahlberg) und die Kreidesedimente mit Fördermengen zwischen 5 l/s (Brunnen Remlingen, im Turon) und ca. 14 l/s (Brunnen Wendessen, im Flammenmergel). Soweit bekannt liegen die spezifischen Ergiebigkeiten in der Kreide zwischen ca. 0,4 l/s m und 1,6 l/s m.

Die Schüttungen der einzelnen Quellen, ausgenommen die aus dem Muschelkalk, betragen im Asse-Höhenzug meist nur 0,5 l/s und weniger. An Querstörungen nordöstlich Groß Denkte und südlich Groß Vahlberg treten ergiebigere Quellen mit Schüttungen zwischen 1 und 5 l/s auf.

Die gemessene Menge des in den Quellen aus dem Asse-Höhenzug zum Abfluß kommenden Grundwassers beträgt zwischen 13 und 30 l/s, entsprechend einer Flächenspende von 0,864 bis 2,0 l/s km².

7. An 59 hydrologischen Aufschlüssen (überwiegend Quellen, daneben auch Brunnen, Drainagen und Vorfluter) wurden zur Beweissicherung und zur Beurteilung des zeitlichen

Verhaltens der Grund und Oberflächenwässer, in meist 2 bis 4 wöchigen Abständen elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Schüttung und Wasserstände gemessen.

Nach der Art des Temperaturganges lassen sich unterscheiden:

Seichte Grundwässer bzw. durch Tagwässer beeinflusste Grundwässer

Grundwässer welche nur geringen Oberflächeneinflüssen unterliegen (Schwankungsbreite $1 - 3^{\circ} \text{C}$)

Grundwässer welche in ihrer Temperatur praktisch konstant sind (Schwankungen: 1°C , oft nur wenige $1/10^{\circ} \text{C}$).

Letztere haben als niedrig mineralisierte Grundwässer und als Gipswässer mittlere Temperaturen zwischen $9,3$ und $10,5^{\circ} \text{C}$. Die ebenfalls temperaturkonstanten NaCl-reichen Grundwässer und Solen bei Groß Denkte weisen höhere mittlere Temperaturen von $10,5$ bis $12,5^{\circ} \text{C}$ auf. Die Herkunft der wärmeren Chloridwässer ist in tieferen Bereichen des Gipshutes bzw. im Gipsmantel zu suchen.

8. Die Umrechnung des umfangreichen hydrochemischen Datenmaterials in die Äquivalentform, die Aufstellung der Ionenbilanz und die Einführung von Ionenquotienten erfolgte mittels EDV am Rechenzentrum der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH in Neuherberg. Hierzu wurden mehrere kurze Programme in ALGOL 60 aufgestellt und gerechnet. Die Darstellung der Analysendaten erfolgte in Drei- und Vierstoff-Diagrammen in Äquivalentprozenten, in Nomogramm-Form und in einer hydrochemischen Karte in Form von Äquivalenzkreisen.
9. Die Konzentrationsspannweiten der einzelnen Lösungsbestandteile in den Grundwässern an der Asse sind sehr unterschiedlich. Die Chlorid-Gehalte der gesamten untersuchten Grundwässer betragen zwischen 25 mg/l und 213000 mg/l ; bei den hydro-

genkarbonatischen Süßwässern schwankt der Chlorid-Gehalt nur zwischen 25 und 50 mg/l, bei Sulfat-Wässern zwischen 28 und 138 mg/l; die Wässer aus dem Muschelkalk des Elms enthalten meist weniger als 35 mg/l.

Die Sulfatgehalte sind in den hydrogenkarbonatischen Süßwässern meist höher als 100 mg/l, in Gipskarstwässern liegen sie in der Nähe des Sättigungswertes (bis 1480 mg/l) und in Natriumchlorid-Solen sogar bei bis zu 4800 mg/l.

Im Gegensatz zu den Chlorid- und Sulfat-Gehalten zeigen die Hydrogenkarbonat-Konzentrationen in allen Grundwässern eine nurgeringe Streuung zwischen 300 und 420 mg/l. Dies läßt sich durch ein ausreichendes Kalkangebot im Grundwasserleiter, durch ähnliche CO_2 -Gehalte im Sickerwasser und eine genügend lange Verweilzeit im Untergrund erklären. Die Kalzium-Gehalte streuen in den höheren Konzentrationen in Abhängigkeit vom SO_4 -Gehalt zwischen 133 und 651 mg/l. Solen enthalten bis 5900 mg Ca^{2+} /l zum größten Teil an Chlorid gebunden. Das Äquivalentverhältnis von $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ beträgt meist zwischen 1 und 4,5 und ist bei den Hydrogenkarbonat-Wässern vom Dolomitgehalt des Grundwasserleiters abhängig. Vergleichende Proben aus dem offenbar dolomitarmen Muschelkalk des südlichen und östlichen Elms haben demgegenüber häufiger $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse von 5 bis 10. Sulfat-Wässer zeichnen sich trotz hoher Kalzium-Gehalte oftmals durch relativ niedrigere $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse aus (min. 4,5). Hier wirkt sich der relativ hohe Dolomitanteil im Salinar des Röts und Mittleren Muschelkalkes aus.

Die Menge der Alkalien ist mit wenigen Ausnahmen dem Chlorid-Gehalt äquivalent. In Süßwässern betragen die Kalium-Gehalte weniger als 7 mg/l. Das Na^+/K^+ -Verhältnis liegt zwischen 2 und 15. Natriumchlorid-Solen haben demgegenüber Äquivalentverhältnisse von 41 bis 119.

10. Nach der äquivalentprozentualen Zusammensetzung der Grundwässer läßt sich eine Vielzahl hydrochemischer Grundwassertypen aufstellen. Als große Gruppen sind Süßwässer (Salzgehalt < 1000 mg/l) und Mineralwässer (Salzgehalt > 1000 mg/l) zu unterscheiden.

Nach den vorherrschenden Anionen lassen sich Hydrogenkarbonat-Wässer, Sulfat-Wässer und Chlorid-Wässer gegeneinander abgrenzen, wobei es vor allem zwischen Hydrogenkarbonat- und Sulfat-Wässern noch Übergänge gibt.

Die Süßwässer sind ausnahmslos dem Hydrogenkarbonat-Typ zuzuordnen. Die Hydrogenkarbonat- und Sulfat-Wässer haben überwiegend Kalzium-Vormacht. Es treten jedoch auch Natrium-Hydrogenkarbonat bzw. Natrium-Sulfat-Wässer sowie Kalzium-Chlorid-Wässer auf.

11. Berücksichtigt man die Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung der Grundwässer, der Petrographie des Grundwasserspeichers und der Tektonik so kommt man zu folgenden Definitionen:

Als autochthone (ortsbürtige) Grundwässer werden hier solche Grundwässer bezeichnet, welche sich auf dem Weg zwischen Versickerung und Wiederaustritt in einem petrographisch mehr oder minder einheitlichem Grundwasserleiter bewegen und ihre chemische Zusammensetzung allein von ihm her beziehen.

Allochthone (ortsfremde) Grundwässer sind demgegenüber an den Ort an dem sie angetroffen werden durch eine mehr oder weniger weit reichende Migration gelangt. Hierzu werden auch Grundwässer gerechnet, welche durch Mischung mehrerer Grundwässer unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung zustande kommen, deren chemischer Charakter aber deutlich von nur einer dieser Mischungskomponenten bestimmt ist.

12. An der Asse lassen sich aufgrund der chemischen Charakteristik und der Zugehörigkeit zu einem bestimmten Grundwasserleiterkomplex folgende autochthone Grundwassertypen unter-

scheiden:

Grundwässer aus der Kreide

Grundwässer aus dem Keuper

Grundwässer aus dem Gipslager des Röt und des
Mittleren Muschelkalkes

Grundwässer aus dem Hutgebirge über dem Zechsteinsalz

Schließlich gibt es noch die Grundwässer aus dem Oberen Muschelkalk des Elms, welche durch stark wechselnde, aus dem Mittleren Muschelkalk stammende, Sulfat-Gehalte eine Übergangsstellung zu den allochthonen Grundwässern einnehmen.

Sämtliche autochthonen Grundwässer mit Ausnahme der Zechsteinwässer haben Chlorid-Gehalte von weniger als 150 mg/l.

13. Die allochthonen Grundwässer an der Asse sind immer chloridische Mineralwässer; sie stehen stets in direkter oder indirekter Verbindung mit Störungszonen.

Da alle mesozoischen Gesteine in denen sich die allochthonen Grundwässer an der Asse bewegen im Bereich des bewegten Grundwassers praktisch chloridfrei bzw. chloridarm sind, muß der Chlorid-Gehalt aus dem Zechsteinsalz stammen.

Entlang von Störungszonen dringen konzentrierte NaCl-Wässer aus dem Gipshut bzw. aus dem Gipsmantel des Zechsteinsalzkörpers in die Flankengesteine ein und mischen sich mit den niedrig mineralisierten autochthonen Grundwässern.

Mit einer Ausnahme bleiben sie in ihrem Chemismus über eine Beobachtungszeit von 3 Jahren relativ konstant.

Ein Teil dieser Mischwässer, meist solche die weiter vom Zechstein entfernt austreten, erfährt durch Wechselwirkung mit den durchflossenen mesozoischen Gesteinen (Ionenaustausch) eine Umwandlung in Kalziumchlorid-Wasser.

14. Natriumhydrogenkarbonatische Austauschwässer treten im Muschelkalk des Elms in größerer Zahl, z. T. artesisch gespannt, auf (bis 600 mg NaHCO_3/l). Natriumsulfathaltige Grundwässer (bis 910 mg $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{l}$) sind weniger häufig und in nur einem Fall (Bohrung bei Wittmar) auch an der Asse bekannt.

15. Vergleichende Schwefel-Isotopen-Bestimmungen an sulfatreichen Wässern und an Gipsen bestätigen in einigen Fällen die auf hydrochemischem Wege abgeleitete Herkunft des Sulfat-Gehaltes aus dem Röt bzw. dem Zechstein. In einem Fall (Meßstelle 20) konnte so eine Migration von Zechsteinsulfat über mehr als 500 m Entfernung nachgewiesen werden. In Zusammenhang mit einer eingehenden hydrochemischen und hydrogeologischen Analyse versprechen derartige Untersuchungen wertvolle hydrogeochemische Aussagen über die Herkunft des Sulfates im Grundwasser. Für sich allein liefern Schwefel-Isotopen-Bestimmungen jedoch vielfach mehrdeutige Aussagen.
16. Bereiche in denen Zechsteinwässer entlang von Störungen in die Flankengesteine wandern wurden bei Groß Denkte zweifelsfrei nachgewiesen. Hier geht die Beeinflussung der Flankengesteinswässer durch Zechsteinwässer bis in das Alluvium der Altenau bei Wendessen. Bei Wittmar und Remlingen treten im Rätsandstein bzw. im Jura Kalziumchlorid-haltige Mineralwässer auf, die ebenfalls durch Migration von Zechsteinwasser und Ionenaustausch zustande gekommen sein müssen. Migrierte Zechsteinwässer gelangen nach den bisherigen Befunden nicht in die wasserwirtschaftlich wichtigen Kreidegesteine.
17. Eine Subrosion des Zechsteinsalzes konnte bei Groß Denkte mit einer derzeit hohen Ablaugungsrate von 1 mm/Jahr nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der Umgebung des Schachtes Asse I wo eine, wenn auch wesentlich schwächere Subrosion möglich erscheint, ist in den übrigen Teilen der Asse eine Subrosion nicht nachweisbar bzw. nicht vorhanden.
18. Die Richtung der Grundwasserbewegungen in den Gesteinen der Asse wird von vielen Faktoren bestimmt: vom Streichen der Schichten, ihrer Steilstellung, vom raschen Wechsel durchlässiger und schwer- bzw. undurchlässiger Gesteine

im Horizontalprofil und von den vorhandenen Querstörungen. So geschieht z. B. der Abfluß des Grundwassers im Gipskarst des Mittleren Muschelkalkes im Streichen hauptsächlich nach Westen. In Gebieten mit stärkerer Querstörung (Groß Denkte, Wittmar) stellen jedoch selbst mächtige schwer durchlässige Serien für migrierende Zechsteinwässer kein unüberwindliches Hindernis dar und es treten senkrecht zum Schichtstreichen verlaufende Grundwasserbewegungen auf.

19. Was die Sicherheit eines dauerhaften Abschlusses der, in der Schachtanlage Asse II eingelagerten bzw. noch einzulagernden, radioaktiven Rückstände vom Biozyklus betrifft, so läßt sich aus hydrogeologischer Sicht folgendes aussagen:

- a) Unabdingbare Voraussetzung für das Eintreten radioaktiver Substanzen aus dem Einlagerungsort über ein wässeriges Transportmedium in das am Wasserkreislauf beteiligte und genutzte Grundwasser außerhalb des Zechsteins wäre ein vollständig geflutetes Grubengebäude und eine undichte Schachtröhre.

Eingehende Untersuchungen über Möglichkeit und Ausmaß von Laugenzuflüssen aus dem Salz oder aus dem Gipshut in das Grubengebäude, welche Voraussetzung für ein Ersaufen der Grube wären, werden vom Institut für Tieflagerung in Clausthal-Zellerfeld durchgeführt. Sie konnten wegen der vielfältigen bergbau-technischen Aspekte nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Nach Ausbau und Abdichtung der Schachtröhre und bei Einhaltung der bergbehördlichen Sicherheitsvorschriften ist jedoch ein vollständiges Ersaufen der Grube und ein hydraulischer Kurzschluß zwischen dem Grubengebäude und dem Grundwasser des mesozoischen Deckgebirges praktisch unmöglich.

- b) Nach den hydrogeologischen Untersuchungen über Tage ist ein Abfließen trotz allem ins Grundwasser gelangter radioaktiver Substanzen nach Westen in Richtung Groß Denkte entgegen dem Salzspiegelgefälle unmöglich.

Auf Störungszonen quer zum Streichen der Schichten verlaufende Grundwasserbewegungen sind, mit Ausnahme des Gebietes bei Groß Denkte mengenmäßig unbedeutend. Zu ihrer endgültigen Beurteilung sind noch Beobachtungen an hydrologischen Untersuchungsbohrungen vor allem in der Umgebung des Schachtes Asse II notwendig. Nach Abschluß des bereits in der Durchführung befindlichen umfangreichen hydrologischen Bohrprogrammes und einer Mindestbeobachtungszeit von 1 bis 2 Jahren ist eine abschließende quantitative Beurteilung der Wasserbewegungen im Deckgebirge und Hutgebirge möglich.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALBRECHT, E., KÜHN, K., KRAUSE, H., RAMDOHR, H. (1966): Sicherheitsstudie zu den Forschungsarbeiten und der Versuchslagerung niedrig radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse II - Unveröffentlichter Bericht der Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München 1966
- ALBRECHT, E., KOLDITZ, H., KÜHN, K., TRABANT, H.E., KRAUSE, H. u. KLUGER, W. (1969): Endlagerung radioaktiver Rückstände.- Schriftenreihe des Deutschen Atomforums H.16, 43 S., Bonn 1969
- AULT, W.U., KULP, J.L. (1959) Isotope geochemistry of sulphur. - Geochim. et Cosmochim. Acta, 16 pp 201-235, Oxford usw. 1959
- BACKHAUS, E. (1967): Zur Geologie des Grenzgebietes zwischen Soling-Scholle und Elfas-Gewölbe (Meßtischblätter Stadtoldendorf und Dassel). - Geol.Jb. 84, S. 755-792 Hannover 1967
- BAUMERT, B. (1928): Über Laugen- und Wasserzuflüsse im deutschen Kalibergbau. - Dissertation Aachen, Hildesheim 1928
- (1955): Die Laugenspeicher in den Schichten des Zechsteins und ihre Gefahren für den Salzbergbau. - Z. deutsch. geol. Ges. 105, S. 729-733, Hannover 1955
- BECKSMANN, E. (1955): Grundwasserchemismus und Bildungsmilieu des Buntsandsteins. - Z. deutsch. geol. Ges. 105, S. 274, Hannover 1955
- (1956): Grundwasserchemismus und Speichergestein. - Z. deutsch. geol. Ges. 106, S. 23-25, Hannover 1956
- (1958) Probleme tieferer Grundwasserstockwerke. - Z. deutsch. geol. Ges. 110, S. 14, Hannover 1958
- BERTSCH, W., PUSCHMANN, H. u. SCHWILLE, F. (1970): Migration radioaktiver Nuklide in porösen Medien. - Z. deutsch. geol. Ges. Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 193-207, Hannover 1970
- BÖSENBERG, K. u. LÜTTIG, G. (1959): Zur Methodik hydrochemischer Untersuchungen im Wesergebiet. - Geol.Jb. 76, S. 579 - 596, Hannover 1959
- BOIGK, H. (1952) Möglichkeiten und Wege zu einer Feingliederung im Mittleren Buntsandstein, erläutert an den Verhältniszahlen des nordwestlichen Vorharzes. - Z. deutsch. geol. Ges. 103, S. 102-105, Hannover 1952

- BOIGK, H. (1956) Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im Raum Südhannover. - Geol.Jb. 72, S. 325 - 340, Hannover 1956
- (1959): Zur Gliederung und Fazies des Buntsandsteins zwischen Harz und Emsland. - Geol.Jb. 76, S. 597-636, Hannover 1959
- (1961): Ergebnisse und Probleme stratigraphischer - paläogeographischer Untersuchungen im Buntsandstein Nordwestdeutschlands. - Geol.Jb. 78, S. 123-134, Hannover 1961
- BROWN, D.J. (1967): Migration characteristics of radionuclides through sediments underlying the Hanford reservation in: Disposal of radioactive wastes into the ground pp 215-225, International Atomic Energy Agency, Proceedings Series, Wien 1967
- CARLE, W. (1955): Stockwerke und Wanderwege von Mineralwässern in Franken. - Z. deutsch. geol. Ges. Jg. 1954, Band 106, 1. Teil, S. 118-130, Hannover 1955
- CHEBOTAREV, I.I. (1955): Metamorphism of natural water in the crust of weathering. - Geochim. et Cosmochim. Acta 8, pp 23-47, 137-168, 198-212, London - New York 1955
- DAVIS, S.N., u. DEWIEST, R.J.M. (1967): Hydrogeology. - pp 463, John Wiley & Sons, New York - London - Sydney 1967
- DIENEMANN, W. u. FRICKE, K. (1967): Mineral- und Heilwässer, Peloide und Heilbäder in Niedersachsen und seinen Nachbargebieten. - 475 S., Hannover und Göttingen 1961
- DIETZ, C. u. PREUL, F. (1955): Hydrogeologische Übersichtskarte 1:500000 Erläuterungen Blatt Hannover, 128 S., Remagen 1955
- DORN, P. (1966) Geologie von Mitteleuropa. - 488 S., 3.A., Stuttgart 1966
- EISSELE, K. (1967): Zur Hydrogeologie der Buntsandstein-Tiefenwässer am Schwarzwald-Ostrand. - Jh. geol. L.A. Baden-Württemberg 9, S. 69-80, Freiburg 1967
- FAST, H. u. SAUER, K. (1958): Die chemische Zusammensetzung südbadischer Grundwässer. Herkunftsfragen und Versuch einer Typologie. - Vom Wasser 25, S. 48-81, Weinheim/Bergstr. 1958
- FRESENIUS, W. (1956): Chemische Nomenklatur der Mineralquellen. Z. deutsch. geol. Ges. 106, S. 183, Hannover 1956

- FRICKE, K. (1954): Eine chemisch-geologische Karte der Mineralquellen Nordrhein-Westfalens. Bemerkungen zur Karte und zur Nomenklatur und Begriffsbestimmung der Mineralwässer. - Geol.Jb. 69, S. 491-500, Hannover 1954
- FULDA, E. (1923): Salzspiegel und Salzhang. - Z. deutsch. geol. Ges. 75, S. 10-14, Stuttgart 1923
- (1924): Salzauslaugung. - Jb. Hall. Verb. Mitteldt. Erdgesch. 4, 2. Lief., S. 369-379, Halle 1924
- (1938): Steinsalz und Kalisalze. - Beyschlag-Krusch-Vogt, Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine, 3.Bd., 2. Teil 240 S., Enke Stuttgart 1938
- GERB, L. (1953): Reduzierte Wässer. - Gas- und Wasserfach 94, H.4, München 1953
- (1958): Grundwassertypen. - Vom Wasser 25, S. 16-47, Weinheim/Bergstraße 1958
- GISSLER, A. (1957 a): Das Unterirdische Wasser. - 187 S., Berlin 1957
- (1957 b): Beiträge zur Geohydrologie der Mineralwässer des NE-Harzrandgebietes. - Z. deutsch.geol.Ges. 109, S. 199-206, Hannover 1957
- GRAHMANN, R. (1958): Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. - Forsch.z.deutsch.Landeskunde 104, Remagen 1958
- GRUPE, O. (1908): Beiträge zur Kenntnis des Wellenkalkes im südlichen Hannover und Braunschweig. - Jb.kgl.pr.L.A. Jg. 1905 Bd. XXVI, S. 436-466, Berlin 1908
- HALLER, H. u. MESTWERDT, A. (1937): Die Chlorcalcium-Quelle von Stecklenburg am Harz. - Jb.kgl.pr.geol.L.-A. 58, S. 478-484, Berlin 1937
- HARK, H.-U. (1954): Pleistozäne Bewegungen im Subherzynen Becken. - Mitt.geol.Staatsinst.Hamburg 23, S. 121, Hamburg 1954
- (1955): Ein Beitrag zur Tektonik am Westrand des Subherzynen Beckens. - Abh.Brschw.g.wiss.Ges. 7, S. 46-65, Braunschweig 1955
- (1956): Zur Tektogenese der Schmalsättel im Subherzynen Becken. - Abh.Brschw.g.wiss.Ges. 8, S. 16-22, Braunschweig 1956
- HARTWIG, G. (1957): Zur Kenntnis des Schichtenpaares "Grenzanhydrit" und "Obere Zechsteinletten" an der SW-Flanke des Asse-Sattels. - Kali und Steinsalz 2, H.5, S. 166-169, Essen 1957

- HAUTHAL, U. (1967): Zum Wasserleitvermögen von Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins. - Z.f. angew. Geologie Bd. 13, H.8, S. 250-255, Berlin 1964
- HECHT, G. (1964): Über das Vorkommen natriumhydrogenkarbonathaltiger Wässer in Thüringen. - Z.f. angew. Geologie Bd. 10, H.5, S. 250-255, Berlin 1964
- HEM, J.D. (1959): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. - Geol. Survey Water Supply Paper 1473, pp 269, Washington D.C. 1959
- HENKEL, A. (1905): Der Muschelkalk im nördlichen Harzvorlande. - Z. deutsch. geol. Ges. 1905, S. 384-392, Hannover 1905
- HERRMANN, A. (1962): Epirogene Bewegungen im germanischen Buntsandsteinbecken und deren Bedeutung für die lithostratigraphische Parallelisierung zwischen Nord- und Süddeutschland. - Geol. Jb. 81, S. 11-72, Hannover 1962
- HERRMANN, A. u. HOFRICHTER, E. (1963 a): Die Hardeggen-Folge (Abfolge 1-4) des Mittleren Buntsandsteins in der nördlichen Hessischen Senke. - Geol. Jb. 80, S. 561-652, Hannover 1963
- (1963 b): Die Faziesgliederung der tieferen Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins Südniedersachsens. - Geol. Jb. 80, S. 653-740, Hannover 1963
- HERRMANN, A., HINZE, C. u. STEIN, V. (1967): Die halotektonische Deutung der Elfas-Überschiebung im Südniedersächsischen Bergland. - Geol. Jb. 84, S. 407-462, Hannover 1967
- HINZE, C. (1967): Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland. - Geol. Jb. 84, S. 637-716, Hannover 1967
- HOEHNE, E. (1911 a): Stratigraphie und Tektonik der Asse und ihres östlichen Ausläufers, des Heeseberges bei Jerxheim. - Jb. kgl. pr. geol. L.-A. Jg. 1911 Bd. XXXII, S. 1-105, Berlin 1911
- (1911 b): Über Salzquellen und Salzmoore in der Asse und am Heeseberg. - Z. deutsch. geol. Ges. 62, Mber. 1910, S. 260-261, Berlin 1911
- HÖLTING, B. (1966): Die Mineralquellen in Bad Wildungen und Kleinern (Landkreis Waldeck, Hessen). - Abh. hess. L.-A. Bodenf. 53, 59 S., Wiesbaden 1966
- HOYNINGEN-HUENE, E.v. (1959): Salztektonik und Auslaugung im Gebiet der Mansfelder Seen. - Freiburger Forschungshefte C 56, Geologie, 57 S., Berlin 1959
- JÜNGST, H. (1928): Pylonoten- und Schlotheimien-Schichten im nördlichen Harzvorlande. - Geol. paläontolog. Abh. 16, Jena 1928

- KALKA, N. (1962): Tektonische Analyse des Asse-Heeseberg-Zuges
unveröff. Dissertation TH Braunschweig 1963
- KALLIES, H.-B. (1963): Gesteinsausbildung und Fossilführung an
der Grenze Mittlerer/Oberer Buntsandstein im südlichen
Niedersachsen. - Geol.Jb. 80, S. 367-436, Hannover 1963
- KELLER, G. (1956): Grundwasserversalzung im saxonischen Faltungs-
feld Niedersachsens. - Geotektonisches Symposium zu
Ehren von Hans Stille. S. 425-440, Stuttgart 1956
- KÜHN, K. (1966): Studie über die Gefahr eines Wassers- und Laugen-
einbruches in das Grubengebäude des Schachtes Asse II,
10 S., unveröffentlichter GSF-Bericht T 4
- (1967): Geo-scientific investigations in the Asse II
salt mine. in: Disposal of radioactive wastes into
the ground. pp 509-518, International Atomic Energy
Agency, Proceedings series Wien 1967
- KUMM, A. (1941): Das Mesozoikum in Niedersachsen, Trias und Lias.
- Geologie und Lagerstätten Niedersachsens 2, 1 328 S.,
Oldenburg 1941
- KRAUSE, H., RAMDOHR, H., BÖHME, G. u. ALBRECHT, E. (1967): Experi-
mental storage of radioactive wastes in the Asse II
salt mine. in: Disposal of radioactive wastes into the
ground. pp 519-529 International Atomic Energy Agency,
Proceedings series, Wien 1967
- KRAWCZYNSKI, S.J.B. (1967): Radioaktive Abfälle. Aufbereitung -
Lagerung - Beseitigung. 303 S., München 1967
- LANGGUTH, H.R. (1966): Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des
Velberter Sattels (Rheinisches Schiefergebirge) 127 S.
Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des
Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf 1966
- LÖHNERT, E. (1966): Die Beschaffenheit des tieferen Grundwassers
und die Grenze Salzwasser/Süßwasser im Staatsgebiet von
Hamburg. - Geol.Mitt. 6, (Breddin-Festschrift) S. 29-
36, Aachen 1966
- (1967 a): Grundwasser-Typen tieferer Stockwerke in
Hamburg. - N.Jb.Geol.u.Paläont.Abh. 129, S. 113-136,
Stuttgart 1967
- (1967 b): Grundwasserversalzungen im Bereich des Salz-
stockes von Altona-Langenhäfen. - Abh.u.Verh.naturwiss.
Ver. Hamburg n.F. 11, S. 29-46, Hamburg 1967
- (1970): Grundwasserchemismus und Kationenaustausch im
norddeutschen Flachland. - Z.deutsch.geol.Ges. Sonderh.
Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 139-159, Hannover 1970

- LOTZE, F. (1957): Steinsalz und Kalisalze. 1. Teil (allgemeingeologischer Teil) 465 S. Borntraeger Berlin 1957
- MACNAMARA, I. u. THODE, H. (1950): Comparison of the isotopic composition of terrestrial and meteoritic sulfur. - Phys. Rev. 78, pp 307-308, 1950
- MARTINI, H. J. (1952): Über Auftreten, Herkunft und wasserwirtschaftliche Bedeutung von versalztem Grundwasser in NW-Deutschland. - Wasserwirtschaft, Sonderbd. 1951, S. 31 - 34, Stuttgart 1952
- MATTHESS, G. (1961): Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. - Abh. hess. L.-A. Bodenf. 35, 85 S., Wiesbaden 1961
- (1970): Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegungen in Festgesteinen. - Abh. hess. L.-A. Bodenf. 58, 105 S., Wiesbaden 1970
- MICHEL, G. (1963): Untersuchungen über die Tiefenlage der Grenze Süßwasser-Salzwasser im nördlichen Rheinland und anschließenden Teilen Westfalens, zugleich ein Beitrag zur Hydrogeologie und Chemie des tiefen Grundwassers. - Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1239, 1963
- (1964): Betrachtungen zur Hydrochemie des tiefen Grundwassers im Ruhrgebiet. - Z. deutsch. geol. Ges. 116, 1. Teil S. 161-166, Hannover 1964
- MÜLLER, G. (1964): Beitrag zur Geochemie des Strontiums in Ca-Sulfat-Gesteinen. Diss. Saarbrücken 1964
- MÜLLER, G. (1962): Zur Geochemie des Strontiums in ozeanen Evaporiten unter besonderer Berücksichtigung der sedimentären Coelestinlagerstätte von Hemmelte-West (Süd-Oldenburg). - Geologie, Beiheft 35 Jg. 11, S. 1-90, Berlin 1962
- MÜLLER, G., NIELSEN, H. u. RICKE, W. (1966): Schwefel-Isotopen-Verhältnisse in Formationswässern und Evaporiten Nord- und Süddeutschlands. - Chemical Geol. 1, S. 211-220, Amsterdam 1966
- MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau. 1. Bd. Theoretischer Teil, Felsbau über Tage 1. Teil, Stuttgart 1963
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (1964): Gutachten über mögliche geologische Folgeerscheinungen der Stilllegung der Schachthanlage Asse II. - Unveröff. Gutachten, Hannover 1964

- NIELSEN, H. u. RICKE, W. (1964): Schwefelisotopenverhältnisse von Evaporiten aus Deutschland, ein Beitrag zur Kenntnis von ^{34}S im Meerwasser-Sulfat. - Geochim. et Cosmochim. Acta 28, S. 577-591, Oxford usw. 1964
- NIELSEN, H. (1965): Schwefelisotope im marinen Kreislauf und das ^{34}S der früheren Meere. - Geol.Rdsch., 55, S. 160-172, Stuttgart 1965
- NIESLUCHOWSKI, P. (1960): Feinstratigraphische Ergebnisse aus der Hauptrogensteinzone (Ob.Unterer Buntsandstein) südwestlich von Berburg. - Geologie Jg.9, H.2, S.156-176, Berlin 1960
- NIGGLI, P. (1952): Gesteine und Minerallagerstätten II. Bd. Exogene Gesteine und Minerallagerstätten, 1952
- NÖRING, F. (1951 a): Grundwasserchemie in Beziehung zu Oberfläche und Untergrund. - Z.deutsch.geol.Ges. 102,
- (1951 b): Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. - Gesundheitsingenieur 72, S. 190-191, München 1951
- PHILIPPI, P. (1899): Das Triasprofil von Uhrde im Braunschweigschen. - Z.deutsch.geol.Ges., Verh. 1899, S. 70-73
- PUCHELT, H. (1965): Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet - Z.deutsch.geol.Ges. 116, 1. T., S. 167-203, Hannover 1965
- PUSCHMANN, H. (1970): Untersuchungen zur Sorption der Radionuklide Sr-85, Cs137 und J-131 an Lockersedimenten. - Deutsche Gewässerkdl. Mitt. 14 (3), S. 63-72, Koblenz 1970
- RAMDOHR, P. u. STRUNZ, H. (1967): Klockmann's Lehrbuch der Mineralogie. 820 S. Stuttgart 1967
- RICHTER-BERNBURG, G. (1941): Zur vergleichenden Stratigraphie des Zechsteins in Mitteldeutschland. - Z.Kali 35, S. 193-197, 1941
- (1953): Die paläogeographischen Voraussetzungen für die Bildung der nordwestdeutschen Salzlager. - Jb.geogr.Ges. Hannover, S. 166-182, Hannover 1953
- (1955): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. - Z.deutsch.geol.Ges. 105, S. 843-854, Hannover 1955
- (1968): Salzlagerstätten in: Bentz, A. und Martini, H.-J. Lehrbuch der angewandten Geologie Bd.II, Teil 1, S. 918-1061, Stuttgart 1968

- RICKE, W. (1964): Präparation von Schwefeldioxid zur massenspektrometrischen Bestimmung des Schwefel-Isotopen-Verhältnisses ^{32}S / ^{34}S in natürlichen Schwefelverbindungen. - Z.anal.Chemie 199, S. 401-413, Berlin 1964
- RÖHRER, F. (1933): Über den Nitratgehalt der Tiefenwässer. - Geol.Rdsch. 33a (Salomon Calvi Festschrift), S. 315-331, Stuttgart 1933
- SCHEFFER, F. u. SCHACHTSCHABEL, P. (1970): Lehrbuch der Bodenkunde. 448 S. Enke Stuttgart 1970
- SCHWIBACH, J. (1967): Research on the permanent disposal of radioactive wastes in salt formations in the Federal Republic of Germany in: Disposal of radioactive wastes into the ground. pp 465-477, International Atomic Energy Agency, Proceedings Series, Wien 1967
- SPITSYN, V.J. u. BALUKOVA, V.D. (1967): Investigation of sorption and migration of radioisotopes in soils and rocks of different compositions. in: Disposal of radioactive wastes into the ground. pp 169-177, International Atomic Energy Agency, Proceedings Series, Wien 1967
- STARK, H. (1956): Versuch einer Gliederung des Unteren Buntsandsteins und einer Feingliederung des Mittleren Buntsandsteins bis zu den Hauptgervillienbänken im Vogler und Homburgwald. - Geol.Jb. 72, S. 315-324, Hannover 1956
- STEINBRECHER, B. (1959): Die Subrosion des Zechsteingebirges im östlichen und nordöstlichen Harzvorland mit besonderer Berücksichtigung der Edderitzer Mulde. - Geologie 8, S. 489-522, Berlin 1959
- SCHMIDEK, R. (1955): Subrosionserscheinungen am Lüneburger Salzstock. - Z.deutsch.geol.Ges. 105, S. 837-842, Hannover 1955
- SCHWILLE, F. (1953): Chloride und Nitrate in den Grundwässern Rheinhessens und des Rheingaus. - GWF, 94, S.410-414, München 1953
- (1953 b): Natriumhydrogenkarbonat- und Natriumchlorid-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens. - Notizbl.hess.L.A.Bodenf. 81, S. 314-335, Wiesbaden 1953.
- (1956): Ionenumtausch und der Chemismus von Grund- und Mineralwässern. -Z.deutsch.geol.Ges. 106, S. 16-22, Hannover 1956
- (1962): Nitrate im Grundwasser. - Dt.gewässerkundl. Mitt. 6, S. 25-32, Koblenz 1962

- STOLLEY, E. (1914): Über Altdiluvium an der Asse. - 7. Jber. Nieders.geol.Ver. Hannover, S. 201-213, Hannover 1914
- TRÖGER, W.E. (1967): Optische Bestimmung gesteinsbildender Minerale. Teil 2, Textband 822 S. Stuttgart 1967
- UDLUFT, H. (1953): Über eine neue Darstellungsweise von Mineralwasseranalysen II. - Notizbl.hess.L.-A.Bodenf. 81, S. 308-313, Wiesbaden 1953
- (1957): Zur graphischen Darstellung von Mineralwasseranalysen und von Wasseranalysen. - Heilbad und Kurort 10, 4 S., Gütersloh 1957
- ULLRICH, A. (1918): Die Wassereinbrüche in die Schächte 1 und 2 der Kaliwerke Aschersleben. Der Wassereinbruch in den Schacht des Kaliwerkes Asse. usw. - Kali 12, S. 88 ff. 1918
- WOLDSTEDT, P. (1931 a): Erläuterung zur Geologischen Karte von Preußen 1:25000, Lieferung 215, Blatt Wolfenbüttel, 55 S., Berlin 1931
- (1931 b): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen 1:25000, Lieferung 215, Blatt Schöppenstedt, 64 S. Berlin 1931
- ZAKOSEK, H. (1956): Über die Bedeutung des Bodens für die Ergänzung der Grundwasservorräte. - Z.deutsch.geol. Ges. 106, S. 36-40, Hannover 1956
- ZIESCHANG, J. (1968): Zur Verbreitung der Mineralwässer in der Deutschen Demokratischen Republik. - Z.f.angew.Geol. 14, H.9, S. 493-497, Berlin 1968
- ZUNCKE, G. (1957): Zur Stratigraphie und Tektonik der Dorm-Rieseberg Achse. - Diss. TH Braunschweig 1957

A N H A N G

Verzeichnis der Abbildungen im Text

Verzeichnis der Tabellen im Text

Verzeichnis der Anlagen

Lage der Gipsprobennahmestellen für die Schwefel-
Isotopen-Bestimmung

Entnahmedatum der Analysenserien 1 - 7 der BfB

In Text und Anhang verwendete Abkürzungen

Meßstellenverzeichnis Asse

Verzeichnis der Probennahmestellen Asse und Umgebung

Verzeichnis der Probennahmestellen südlicher und östlicher Elm

Verzeichnis der Abbildungen im Text

- Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes
- Abb. 2: Morphologische Übersichtskarte
- Abb. 3: Tektonische Übersichtsskizze des nordwestlichen subherzynen Beckens
- Abb. 4: Geologisches Profil durch den Buntsandstein der Bohrung H 3 im Nordflügel der Asse
- Abb. 5: Geologisches Profil durch den Muschelkalk der Bohrung H 4 im Nordflügel der Asse
- Abb. 6: Geologisches Profil durch die Schachtanlage Asse II
- Abb. 7: Geologisches Profil durch den Schacht Asse I
- Abb. 8: Geologische Kartenskizze der Umgebung des Schachtes Asse II
- Abb. 9: Kluftdiagramm
- Abb. 10: Niederschlagshöhen an der Meßstelle Schacht Asse II
- Abb. 11: Mittlerer Abfluß der Altenau am Pegel Wendessen
- Abb. 12: Pumpversuch am Brunnen Remlingen (Meßstelle 9)
- Abb. 13: Grundwassertemperaturen an der Asse
- Abb. 14: Temperaturgang der Wässer der Meßstellen 5, 6, 13, 19, 25 und 30 an der Asse
- Abb. 15: Gesamtsalzgehalt und chemische Zusammensetzung der Grundwässer an der Asse und ihrer Umgebung
- Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Gesamtsalzgehalte der Grundwässer aus Asse und Elm

- Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Hydrogenkarbonat-Gehalte der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm
- Abb. 18: Beziehung zwischen dem Äquivalent-Verhältnis $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ und dem Hydrogenkarbonat-Gehalt von Grundwässern mit unterschiedlichen Sulfat-Gehalten aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm
- Abb. 19: Zusammenhang zwischen Sulfat-Gehalt in mval/l und dem Gesamtsalzgehalt in mval/l der Grundwässer aus Asse und Elm
- Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der Sulfat-Gehalte der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm
- Abb. 21: Häufigkeitsverteilung des Chlorid-Gehaltes der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm
- Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Nitrat-Gehalte der Grundwässer aus der Asse und dem südlichen und östlichen Elm
- Abb. 23: Häufigkeitsverteilung des Äquivalent-Verhältnisses $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ an der Asse (Analysenserien 1 - 7)
- Abb. 24: Zusammenhang zwischen Sulfat-Gehalt und Strontiumkonzentration in Grundwässern aus der Asse
- Abb. 25: Chemische Zusammensetzung der Grundwässer aus der Asse und ihrer Umgebung
- Abb. 26: Chemische Zusammensetzung der Grundwässer aus Kreide und Keuper der Asse und der Remlinger Mulde
- Abb. 27: Chemische Zusammensetzung der Grundwässer aus dem Muschelkalk des Elms

- Abb. 28: Chemische Zusammensetzung der Grundwässer aus dem Röt und dem Mittleren Muschelkalk an der Asse
- Abb. 29: Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer im Anionendiagramm
- Abb. 30: Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer im Kationendiagramm
- Abb. 31: Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer im Vierstoff-Diagramm I
- Abb. 32: Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer im Vierstoff-Diagramm II
- Abb. 33: Gang der elektrolytischen Leitfähigkeit einiger Grundwässer an der Asse
- Abb. 34 u. 35 : Chemische Zusammensetzung und chemische Varianz von Grundwässern an der Asse (Meßstellen 1, 2, 16, 18, 20)
- Abb. 36 u. 37 : Chemische Zusammensetzung und chemische Varianz von Grundwässern an der Asse (Meßstellen 3, 9, 10, 12, 14, 15, 17₁, 17₂, 21, 23, 26, 27)
- Abb. 38: Die Verteilung der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in Evaporiten verschiedener Formationen
- Abb. 39: Hydrogeologisches Profil durch den Salzstock von Groß Denkte mit den möglichen Wanderungen der Salzwässer und ihren Austrittsorten
- Abb. 40: Chlorid-Gehalte und NK-Härten der Grund- und Oberflächenwässer im Bereich von Groß Denkte
- Abb. 41: Längsprofil durch die Subrosionssenke zwischen Groß Denkte und Klein Vahlberg

Verzeichnis der Tabellen im Text

- Tab. 1: Schichtenfolge, Schichtenausbildung und Wasserführung des Mesozoikums an der Asse
- Tab. 2: Schichtenfolge des Zechsteins an der Asse
- Tab. 3: Niederschläge und Lufttemperaturen der Meßstellen Wolfenbüttel, "Zur Asse" und Braunschweig
- Tab. 4: Abflußmessungen am Rothebach
- Tab. 5: Quellschüttungen
- Tab. 6: Löslichkeit des Kalziumsulfates in Abhängigkeit von Temperatur und NaCl-Gehalt
- Tab. 7: Eisen- und Mangan-Gehalte der Grundwässer an der Asse
- Tab. 8: Lithium-, Brom- und Jod-Gehalte der Grundwässer an der Asse
- Tab. 9: Chemische Zusammensetzung einiger Sulfatwässer aus Norddeutschland
- Tab. 10: Nebenbestandteile der Gipswässer
- Tab. 11: Hauptlösungsbestandteile der Zechsteinwässer
- Tab. 12: Nebenbestandteile und Spurenelemente der Zechsteinsolen
- Tab. 13: Äquivalentprozentuale Zusammensetzung der Zechsteinwässer
- Tab. 14: Ionenquotienten der Zechsteinwässer
- Tab. 15: Erdalkalichlorid-Gehalte der allochthonen Grundwässer an der Asse
- Tab. 16: Chemische Zusammensetzung der allochthonen Grundwässer an der Asse

Tab. 17: Schwefel-Isotopen-Verhältnisse von Gipsen und Grundwässern der Asse

Tab. 18: Chemische Beschaffenheit der Vorfluterwässer bei Groß Denkte

Verzeichnis der Anlagen:

Anlage 1: Hydrochemische Karte und Verbreitung der Grundwasserleiter

Anlage 2: Hydrogeologische Profilserie

Anlage 3: Tektonische Karte

Anlage 4: Lageplan der hydrologischen Meßstellen

Lage der Gipsprobennahmestellen für die Schwefel-Isotopen-
Bestimmung:

Probenbez.	Ort der Probennahme
G 1/A	Röt-Gips östlich Groß Denkte, bei der Meßstelle 18
G 1/B	50 m östlich G 1/A
G 1/C	150 m östlich G 1/A
G 3/A	Keuper-Gips südöstlich Asseburg
G 3/B	ca. 5 m neben G 3/A
G 4	Röt-Gips, westlich Meßstelle 10
G 5/A	Zechstein-Gips, 300 m östlich Schacht Asse I
G 5/B	Zechstein-Gips, wie oben ca. 10 m daneben
G 6	Gips an der Straße Remlingen/Gr.Vahlberg neben der ehemaligen Gipshütte

Entnahmedatum der Analysenserien 1 - 7 der BfB:

Serie 1	03.03.66 - 04.03.66
Serie 2	24.04.66 - 27.04.66
Serie 3	05.07.66 - 07.07.66
Serie 4	19.10.66 - 21.10.66
Serie 5	31.07.67 - 02.08.67
Serie 6	27.09.67 - 29.09.67
Serie 7	30.03.69

Im Text und Anhang verwendete Abkürzungen:

GOK	Geländeoberkante
GSF	Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München (jetzt: Gesellschaft für Strahlen- und Umwelt- forschung mbH München)
n.n.	nicht nachweisbar
Sp	Spuren

Analytiker:

BfB	Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover, Dr. FAUTH
St.Ch.U.A.	Staatlich Chemische Untersuchungsanstalt, Braunschweig, Dr. BROUER

Meßstellenverzeichnis

ASSE

Stand Ende 1970

Meß- stelle Nr.	Lage	Art	Ort	Höhe über NN ⁺ in m	Grundwasserleiter (Gestein des Quellmundes)
1	r 44 09030 h 57 78180	Brunnen	am Schacht Asse II	191 186	Zechsteinhutgebirge Buntsandstein
2	r 44 10080 h 57 77960	Quell- fassung	Obere Quellfassung Gr. Vahlberg	168	Muschelkalk
3	r 44 10220 h 57 78050	Quell- fassung	Mittlere Quellfassung Gr. Vahlberg	150	Muschelkalk
4	r 44 10360 h 57 77970	Quelle	Östlich der Quellfassungen von Gr. Vahlberg	155	? Muschelkalk
5	r 44 11050 h 57 78180	Vor- fluter	südlich Gr. Vahlberg	127	-----
6	r 44 11240 h 57 77460	Quelle	westlich Kl. Vahlberg	159	Zechsteinhutgebirge
7	r 44 09830 h 57 76880	Vor- fluter	oberhalb Badeanstalt Remlingen	148	-----
8	r 44 09330 h 57 76730	Vor- fluter	nördlich Remlingen	144	-----

Meß- stelle Nr.	Lage	Art	Ort	Höhe über NN + in m	Grundwasserleiter (Gestein des Quellmundes)
9	r 44 09600 h 57 75960	Brunnen	Wasserversorgung der Gemeinde Remlingen	$\frac{132}{120}$	Turon
10	r 44 08200 h 57 79210	Quell- fassung	nördlich SchachtASSE I	180	Röt
10 a	r 44 07860 h 57 79210	Wasser- leitung	Zuleitung von 10 auf dem Gelände von SchachtASSE I	160	Röt
11	r 44 07950 h 57 78940	Vor- fluter	nördl. SchachtASSE I	-----	
12	r 44 07200 h 57 78450	Brunnen	Wasserversorgung der Gemeinde Wittmar	$\frac{126}{109}$	Rötsandstein
13	r 44 06060 h 57 80030	Drainage	Sportplatz Gr. Denkte	123	-----
13 a	r 44 06040 h 57 80040	Quelle	Sportplatz Gr. Denkte	120	? Buntsandstein
14	r 44 05810 h 57 79770	Quelle	östlich Groß Denkte	125	? Mittlerer Muschelkalk
15	r 44 05790 h 57 79780	Quell- fassung	östlich Groß Denkte	121	? Muschelkalk
16	r 44 05930 h 57 80510	Quell- fassung	Wasserversorgung der Gemeinde Groß Denkte	130	Buntsandstein
17	r 44 05980 h 57 80530	Quell- fassung	Wasserversorgung der Gemeinde Groß Denkte	134	Buntsandstein

Meß- stelle Nr.	Lage	Art	Ort	Höhe über NN + in m	Grundwasserleiter (Gestein des Quellmundes)
18	r 44 06130 h 57 80540	Quelle	nordöstlich Groß Denkte	145	Röt
19	r 44 05620 h 57 80320	Vor- fluter	oberhalb Badeanstalt Groß Denkte	116	-----
20	r 44 06010 h 57 80790	Quelle	südlich vom Falkenheim, Gr.Denkte	121	Unterer Muschelkalk
21	r 44 06130 h 57 80910	Quelle	am Weiher bei Falkenheim, Groß Denkte	130	Mittlerer Muschelkalk
22	r 44 06420 h 57 81100	Vor- fluter	nördlich von Falkenheim, Groß Denkte	112	-----
23	r 44 08880 h 57 79940	Brunnen	Wasserversorgung der Gemeinde Mönche-Vahlberg	110 <u>204</u>	Rätsandstein
24	r 44 05600 h 57 80290	Quelle	oberhalb Badeanstalt Groß Denkte	116	Zechsteinhutgebirge
25	r 44 07300 h 57 78600	Vor- fluter	am Bahndamm nördlich Wittmar	132	-----
26	r 44 05860 h 57 80230	Quelle	am Bahneinschnitt nordöstlich Groß Denkte	125	Hauptrogensteinbank
27	r 44 05860 h 57 30400	Quell- fassung	am Hochbehälter Groß Denkte	126	Buntsandstein
28	r 44 06320 h 57 81070	Quelle	nordöstlich Falkenheim, Groß Denkte	110	Muschelkalk

Meß- stelle Nr.	Lage	Art	Ort	Höhe über NN + in m	Grundwasserleiter (Gestein des Quellmundes)
29	r 44 10070 h 57 73890	Quelle	westlich Groß Vahlberg	125	Mittlerer Keuper, Steinmergelbank
30	r 44 10660 h 57 78590	Drainage Quelle?	südlich Groß Vahlberg	120	-----
31	r 44 05510 h 57 30040	Vor- fluter	östlich Groß Denkte	91	-----
32	r 44 06220 h 57 80860	Brunnen	Wasserversorgung Falkenheim	$\frac{145}{?}$	Mittlerer Muschelkalk
32 a	r 44 06180 h 57 80880	Brunnen	ehemalige Wasserversorgung Falkenheim	$\frac{140}{?}$	
33	r 44 06870 h 57 81420	Quelle	nördlich Kreuzberg	90	? Rätsandstein
34	r 44 07260 h 57 78560	Quelle	südlich 25; b. Wittmar	132	? Mittlerer Keuper
35	r 44 10660 h 57 78590	Vor- fluter	südlich Groß Vahlberg bei (30)	120	-----
36	r 44 06310 h 57 30900	Quelle	nördlich Falkenheim	130	Oberer Muschelkalk
37	r 44 05540 h 57 77200	Brunnen	bei Sottmar	$\frac{104}{?}$	Senon
38	r 44 05450 h 57 76680	Quellen	nordöstlich v. Kissenbrück	93	Senon

Meß- stelle Nr.	Lage	Art	Ort	Höhe über NN + in m	Grundwasserleiter (Gestein des Quellmundes)
39	r 44 05570 h 57 76480	Quell- fassung	Wasserversorgung nordöstlich von Kissenbrück	94	Senon
40	r 44 08830 h 57 79940	Quell- fassung	alte Wasserversorgung von Mönche-Vahlberg	110	Keuper
41	r 44 09550 h 57 79520	Vor- fluter	westlich Espenberg	113	-----
42	r 44 11050 h 57 78180	Drainage	bei 5	127	-----
43	r 44 10000 h 57 77150	Quelle	nordöstlich Remlingen, Löffelgrabenquelle	162	Mittlerer Keuper, Steinmergelbank
44	r 44 09070 h 57 78150	Schacht	Schacht Asse II	192	Buntsandstein, Zechsteinhutgebirge
45	r 44 07800 h 57 78900	Schacht	Schacht Asse I	159 134	Buntsandstein, Zechsteinhutgebirge
46	r 44 10320 h 57 78020	Quelle	nahe Wasserbehälter Groß Vahlberg	150	Muschelkalk
48	r 44 08370 h 57 78410	Quelle	Remlinger Forst	196	?
50	r 44 11070 h 57 77660	Quell- fassung	200 m NW 6	155	Mittlerer Muschelkalk, Zechsteinhutgebirge
52	r 44 05460 h 57 79930	NaCl- Quelle	Bleier Weg, Groß Denkte	105	

Meß- stelle Nr.	Lage	Art	Ort	Höhe über NN + in m	Grundwasserleiter (Gestein des Quellmundes)
53	r 44 07320 h 57 78620	Über- lauf	am alten Wasserbehälter Wittmar	135	? Keuper
54	r 44 07540 h 57 78220	Quell- fassung	Bahndamm südöstlich Forst- haus Asse, Wittmar	140	? Jura, Keuper
55	r 44 10270 h 57 76000	Quelle	am Steinberg bei Remlingen	135	Flammenmergel
56	r 44 07550 h 57 78920	Quelle	am Parkplatz "Waldhaus zur Asse", Wittmar	155	Buntsandstein
58	r 44 07810 h 57 78150	Quell- fassungen	Wittmarhorn; alte Wasser- versorgung Wittmar	155	Keuper
60	r 44 09450 h 57 76670	Brunnen	Straßenbrunnen in Remlingen	$\frac{142}{?}$	
62	r 44 09500 h 57 76280	Brunnen	auf dem ehemaligen Gut von Quidde; Remlingen	$\frac{137}{?}$	?
63	r 44 05700 h 57 80030	NaCl- Quelle	nördlich Bleierweg östlich Groß Denkte	110	Zechsteinhutgebirge
64	r 44 12300 h 57 77060	Schacht	Schacht Asse III	$\frac{167}{124}$	Zechsteinhutgebirge

+) Bei Brunnen gibt die obere Zahl die Höhe des Geländes, die untere die ungefähre Höhe des Wasserspiegels an.

Verzeichnis der Probennahmestellen:ASSE und Umgebung - 1 -

Kurzbezeichnung	Ort der Probennahme	wasserführende Formation
BR 1	alte Bohrung beim Schwimmbad Remlingen	? Jura, Kreide
GD 1	Grundwasser, Aral-Tankstelle Groß Denkte	Hutgebirge des Zechsteins
GD 2	ehemalige Laugenquelle im Erdfall 20 m südlich des Mühlgrabens bei Groß Denkte	Hutgebirge des Zechsteins
GD 3	Salzquelle von Brink im Dorfe Groß Denkte	Hutgebirge des Zechsteins
GD 4	Wasser aus dem Dränrohr im Wolf'schen Acker Groß Denkte	Hutgebirge des Zechsteins
GD 5	Salzquelle im Breymann'schen Garten, Gr. Denkte	Hutgebirge des Zechsteins
KD 1	Brunnen O. Bötcl, Klein Denkte	? Alluvium d. Altenau
KD 2	Brunnen Landwirt Erhard Geilhaar, Klein Denkte	? ?
N 1	Bohrung I, 8m, Wagner, Neindorf	Alluviale Kiese der Oker
Ü 1	Quelle unterhalb des Pfarrgartens am Westernbach, Ührde	Mittlerer Keuper
Ü 2	Brunnen "am Kuhspring", Ührde, erbohrt im Okt. 34	Mittlerer Keuper
Ü 3	Brunnen für Schule, Ührde, gebohrt im Dez. 52	Mittlerer Keuper ?
Ü 4	Bohrung B 1, Ührde, März 1966	? Quartär
Ü 5	Ührde, Ortswasserversorgung	? ?

Kurzbezeichnung	Ort der Probennahme	wasserführende Formation
We 2	Wendessen, Brunnen am N-Rand des Dorfes, Trinkwasser Wendessen	Flammenmergel
We 8	Wendessen, Bohrbrunnen in der Nähe der Wendesser Mühle, ca. 8 m tief;	Alluvium der Altenau
We 9	Wendessen, "am Brunnen"	? Alluvium der Altenau
We 10	Wendessen, Bohrung an der Mühle Wendessen	Alluvium der Altenau
We 11	Wendessen, Probebohrung westlich vom Ort am Qualenberg;	Flammenmergel
We 12	Wendessen, Bohrung	Alluvium der Altenau
We 13	Wendessen, Bohrung	Alluvium der Altenau
Wi 2	Wittmar, Probebohrung Juni 1963	? Keuper
Wi 4	Wittmar, Quellwasser	Keuper

Verzeichnis der Probennahmestellen: südlicher und östlicher Elm - 1 -

Kurzbezeichnung	Ort der Probennahme	wasserführende Formation
Am 1	Amleben, Bohrbrunnen 30 m	Keuper oder Ob. Muschelkalk
Am 2	Amleben, Bohrbrunnen 64,15 m	? Ob. Muschelkalk
Da 2	Groß Dahlum, Bohrbrunnen 52 m für die neue Siedlung Groß Dahlumer Allee 1	? Jura
Da 3	Groß Dahlum, zentrale Ortswasserversorgung - Siedlung	? Jura
Ev 1	Evessen, Bohrbrunnen 60 m	Keuper
Ev 2	Evessen, Versuchsbohrung an der Straße zwischen Evessen und Gilzum	Keuper
Ev 3	Evessen, Haus- und Betriebswasserversorgung, Waldgaststätte "Reitling"	? ?
Ha 1	Hachum, Zentrale Wasserversorgung	? ?
Kn 1	Kneitlingen, Zentrale Ortswasserversorgung	? ?
Rä 1	Räbke, Brunnen	Ob. Muschelkalk
Rä 2	Räbke, 2 flach gefaßte Quellen	Ob. Muschelkalk
Sö 1	Schöningen, Quelle am sog. Kupferbach beim Klostergut Offleben	? ?
Sö 2	Schöningen, Brunnen auf dem Burgplatz	? ?
Sö 3	Schöningen, Brunnen im Hofe eines Schlachters	? ?

Kurzbezeichnung	Ort der Probennahme	wasserführende Formation
Sö 4	Schöningen, Bohrloch Saline Schöningen	Muschelkalk
Sö 5	Schöningen, Mevesspring	Ob. Muschelkalk
Sö 6	Schöningen, "Schlütersches Bohrloch"	Muschelkalk
Sö 7	Schöningen, Brunnen erbohrt im März 26	Muschelkalk
Sö 8	Schöningen, Brunnen Koiersdorfer Straße	Muschelkalk
Sö 9	Schöningen, Brunnen Negeborn	Muschelkalk
Sö 10	Schöningen, Artesischer Brunnen auf dem Gutshof in Schöningen	? Muschelkalk
Sö 11	Schöningen, Quelle Ostenstraße	Muschelkalk
Sö 12	Schöningen, Quelle Südstraße	Muschelkalk
Sö 13	Schöningen, Brunnen Wobeckerstraße	Muschelkalk
Sp 1	Schöppenstedt, Brunnen bei Ziegelei	? Rätsandstein
Sp 2	Schöppenstedt, Brunnen 58 m, in der Nähe der Ziegelei, Ortswasserversorgung 1935	Rätsandstein
Sp 4	Schöppenstedt, Bohrung 16 m	Alluvium der Altenau
Sp 6	Schöppenstedt, Bohrbrunnen 15 m	Alluvium der Altenau
Sp 7	Schöppenstedt, Brunnen I, 18 m	Alluvium der Altenau
Sp 9	Schöppenstedt, Ziegeleibrunnen 60 m	Rätsandstein
Sp 10	Schöppenstedt, Quellwasser	? Ob. Muschelkalk
Sp 12	Schöppenstedt, Beobachtungsbrunnen	Alluvium der Altenau
Sp 13	Schöppenstedt, Sauerbachquelle	Ob. Muschelkalk
Tw 1	Twiefelingen, Bohrbrunnen, artesisch, 30 m	Ob. Muschelkalk

Verzeichnis der Probennahmestellen: südlicher und östlicher Elm - 3 -

Kurzbezeichnung	Ort der Probennahme	wasserführende Formation
Tw 2	Twieflingen, Bohrbrunnen 90 m	Ob. Muschelkalk
Wa 1	Warberg, alter Brunnen 60-80 m, Domäne Warberg artesischer Auftrieb	Muschelkalk
Wa 2	Warberg, neuer Brunnen 30 m	Muschelkalk
Wa 3	Warberg, Bohrung 49,20 m	Muschelkalk
Wa 4	Warberg, Brunnen	?
Wa 6	Warberg, "neuer Bohrbrunnen"	Muschelkalk
Wa 7	Warberg, Bohrung Warberg II	?
Wa 8	Warberg, Weichwasserbrunnen, Schachtbrunnen	Muschelkalk, Keuper
Wa 9	Warberg, Bohrbrunnen I, 41 m	Muschelkalk
Wa 10	Warberg, Bohrbrunnen III, 54,2 m	Muschelkalk
Wa 11	Warberg, Quelle, Güldenspring ?	Muschelkalk
Wb 2	Wobeck, Probebohrung, 105 m, artesischer Auslauf	Muschelkalk
Wb 3	Wobeck, neuer Brunnen, 1964, Beginn des Pumpver- suchs	Muschelkalk
Wb 4	Wobeck, neuer Brunnen, 1964, Ende des Pumpversuchs	Muschelkalk
Wb 5	Wobeck, Bohrung Wobeck	Muschelkalk
Wb 7	Wobeck, Schilligegrundquelle	Muschelkalk
Wb 8	Wobeck, Mühlenbachquelle	Muschelkalk
Wt 1	Watenstedt, Schachtbrunnen	? Keuper

Lebenslauf

Horst Frank

geboren am 14. April 1940 in München

Meine Eltern: Gottfried Frank, Vulkaniseurmeister
 Gertrud Frank, geb. Heine

Schulzeit: 1946 - 51 Volksschule in München
 1951 - 60 Klenze Oberrealschule in München

Reifeprüfung: Juli 1960

Wehrdienst: 1961 - 1962 in Mittenwald

Studium: WS 1960/61 Rechtswissenschaften,
 Universität München
 seit 1962 Geologie, Universität München

Diplomvorprüfung: November 1964

Diplomhauptprüfung: Juni 1967

Doktorarbeit: seit Herbst 1967

Berufspraxis: Februar-April 1971 für die Gesellschaft für
 angewandte Geophysik mbH, München, Grund-
 wassererschließung in Tansania;

 August-November 1971 als Hydrogeologe
 am Bayerischen Geologischen Landesamt

Meine akademischen Lehrer waren:

an der Universität München:

G.ANGENHEISTER, H.J.AUTRUM, L.BRAUNER, R.DEHM, A.FAESSLER,
G.FISCHER, H.HAGN, W.D.GRIMM, R.HUISGEN, H.JAGODZINSKI,
H.LOUIS, A.MAUCHER, F.NEUMAIER, E.WIBERG, P.WURSTER.

an der Technischen Universität München:

H.BÖGEL, K.O.KOPP, K.SCHMIDT, P.SCHMIDT-THOMÉ.

